

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский Политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Система автоматического регулирования отопления мобильного жилого помещения, расположенного в районе, с суровыми климатическими условиями

УДК 697.24-52

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Лаврентьев Григорий Викторович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Кравченко Евгений Владимирович	К.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубоченко Татьяна Григорьевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова Ольга Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Антонова Александра Михайловна	К.Т.Н.		

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы
бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные</i>	
P1	Применять математические, естественнонаучные, инженерные, гуманитарные, социально-экономические знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>теплоэнергетических и теплотехнических установок</i> , автоматизированных систем управления, средств автоматизации и контроля.
P2	Формулировать задачи в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> , автоматизированных систем управления, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
P3	Проектировать <i>теплоэнергетические и теплотехнические системы</i> , автоматизированных систем управления и их компоненты.
P4	Планировать и проводить испытания и экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>систем теплоэнергетики и теплотехники</i> , автоматизированных систем управления, их оборудования, интерпретировать данные и делать выводы.
P5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> , автоматизированных систем управления
P6	Применять практические знания принципов и технологий <i>теплоэнергетической и теплотехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<i>Универсальные</i>	
P7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .
P8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .
P10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P11	Учитывать социальные, правовые и культурные аспекты, вопросы охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности при осуществлении комплексной инженерной деятельности в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i>
P12	Непрерывно самообучаться и совершенствовать свои компетенции в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский Политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель профиля
 Антонова А.М.

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ **на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6В	Лаврентьеву Григорию Викторовичу

Тема работы:

Система автоматического регулирования отопления мобильного жилого помещения, расположенного в районе, с суровыми климатическими условиями	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	14.05.2020, № 135-41/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

	30.05.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом автоматизации является передвижной вагон-дом «Кедр» К.04.1.1, исполнения, рассчитанного на проживание восьми человек. Данные здания широко применяются в вахтовых посёлках, удалённых от крупных источников тепловой и электрической энергии. Для обеспечения комфортных микроклиматических условий внутри мобильного здания необходимо разработать АСР отопления, не внося серьёзных изменений в принятые производителем технические решения. Оптимальный диапазон температур, который должна поддерживать разрабатываемая система, равен 20...22 °С в холодный период года и 22...25 °С – в тёплый. Также необходимо предусмотреть возможность надёжного запуска и работы системы
--------------------------	--

	при низких температурах снаружи вагон-дома, которые, согласно данным производителя, могут быть в диапазоне от минус 60 до плюс 40 °С. При проектировании системы планируется использовать платформу Arduino Nano. В связи с этим, необходимо провести анализ возможности применения данного устройства в условиях домашней автоматизации.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ объекта автоматизации 2. Разработка конструкторской документации АСР отопления. 3. Расчёт параметров настройки регулятора. 4. Проектирование и сборка экспериментального стенда. 5. Написание программного кода системы. 6. Разработка мнемосхемы проекта. 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 8. Социальная ответственность.
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Схема структурная. 2. Схема функциональная. 3. Схема принципиальная электрическая 4. Схема монтажная. 5. Общий вид щита силовой коммутации. 6. Общий вид щита автоматики и управления.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трубченко Татьяна Григорьевна
Социальная ответственность	Немцова Ольга Александровна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.02.2020
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, НОЦ И.Н. Бутакова	Кравченко Евгений Владимирович	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Лаврентьев Григорий Викторович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа имеет 112 страниц, 19 рисунков, 24 таблицы, 53 источника, 6 приложений.

Ключевые слова: автоматическая система регулирования, отопление, передвижной вагон-дом, Arduino Nano, техническая документация, программный код, технические средства автоматизации, экспериментальный стенд.

Объектом автоматизации является передвижной вагон-дом «Кедр» К.04.1.1, рассчитанный на проживание восьми человек. Объектом исследования является платформа Arduino Nano.

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы проведён анализ объекта автоматизации, разработана схемная проектная документация, выбраны технические средства автоматизации, рассчитаны параметры настройки используемого регулятора, спроектирован и собран экспериментальный стенд, а также написан программный код системы.

В результате работы разработана автоматическая система регулирования отопления в передвижном вагон-доме «Кедр» К.04.1.1, а также проведены исследования, подтверждающие целесообразность использования платформы Arduino Nano в домашней автоматизации.

Спроектированная система основана на использовании компактных микропроцессорных устройств, имеет низкую цену компонентов, широкие возможности модернизации и расширения программного и аппаратного функционала. Она позволит с точностью контролировать и регулировать температуру помещений вагон-дома, обеспечивая благоприятные микроклиматические условия, а также снизит избыточный расход электроэнергии на отопление, возникающий за счёт несовершенства ручного регулирования работой отопительных приборов.

Оглавление

Введение.....	9
1 Обзор проектов с применением платформы Arduino.....	10
2 Параметры микроклимата в жилых мобильных зданиях	11
3 Анализ объекта автоматизации	12
4 Разработка структуры АСР отопления	14
5 Разработка функциональной схемы АСР	15
6 Выбор технических средств автоматизации и составление заказной спецификации	16
6.1 Выбор регулирующего устройства	16
6.2 Выбор датчиков температуры	17
6.3 Выбор индикатора температуры	19
6.4 Выбор коммутирующих устройств.....	20
7 Разработка монтажной схемы внешних проводок.....	22
8 Разработка принципиальной электрической схемы	23
9 Разработка общего вида щитов.....	24
10 Расчёт оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора	25
10.1 Идентификация объекта управления	25
10.2 Расчёт и построение границы заданного запаса устойчивости АСР....	28
10.3 Определение оптимальных параметров настройки регулятора.....	34
11 Экспериментальный стенд и программное обеспечение системы	36
11.1 Разработка экспериментального стенда	36
11.2 Написание программного кода.....	37
11.3 Мнемосхема системы и возможности SCADA-системы.....	38
12 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 43	
12.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	44
12.1.1 Потенциальные потребители системы	44

12.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	45
12.1.3 SWOT-анализ	49
12.2 Планирование технического проекта	50
12.2.1 Структура выполнения работ участниками разработки технического проекта	50
12.2.2 Определение трудоёмкости выполнения работ.....	51
12.2.3 Разработка графика реализации технического проекта.....	52
12.3 Бюджет технического проекта.....	54
12.3.1 Материальные затраты на реализацию проекта	54
12.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных работ...	55
12.3.3 Расчёт амортизационных отчислений	56
12.3.4 Заработная плата исполнителей проекта.....	57
12.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды.....	59
12.3.6 Накладные расходы	60
12.3.7 Формирование бюджета затрат проекта.....	61
12.4 Выводы по разделу	61
13 Социальная ответственность	64
13.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	65
13.2 Производственная безопасность	66
13.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	67
13.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на жильца вагон-дома	70
13.3 Экологическая безопасность.....	72
13.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	73
13.5 Вывод по разделу	74
Заключение	75
Список использованных источников	76
Приложение А	82
Приложение Б.....	83

Б1. Расчёт и построение переходного процесса в замкнутой АСР при возмущении f , идущем по каналу регулирующего воздействия	83
Б.2 Оценка качества переходного процесса замкнутой АСР по каналу регулирующего воздействия.....	88
Б.3 Расчёт и построение переходного процесса в замкнутой АСР при возмущении f , идущем по каналу возмущающего воздействия	89
Б.4 Оценка качества переходного процесса замкнутой АСР по каналу возмущающего воздействия	94
Приложение В.....	96
Приложение Г	98
Приложение Д.....	106
Приложение Е.....	112
ФЮРА.421000.008 СО1 Заказная спецификация приборов и средств автоматизации.....	на отдельном листе
ФЮРА.421000.008 ПЭЗ Перечень элементов щита силовой коммутации.....	на отдельном листе
Графический материал:	на отдельных листах
ФЮРА.421000.008 С1	Схема структурная
ФЮРА.421000.008 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.008 С4	Схема монтажная
ФЮРА.421000.008 Э3	Схема принципиальная электрическая
ФЮРА.421000.008 ВО (лист 1)	Общий вид щита силовой коммутации
ФЮРА.421000.008 ВО (лист 2)	Общий вид щита автоматики и управления

Введение

Добыча и транспортировка таких полезных ископаемых, как нефть и газ, является для России важным источником её экономического развития. Крупные месторождения этих ресурсов расположены в северных районах: ХМАО (нефть), Ямало-Ненецкий АО (газ) и характеризуются отдалённостью от крупных городов, суровыми климатическими условиями и труднодоступностью [1]. Основной способ доставки газа и нефти потребителю – газовые и нефтяные магистральные трубопроводы.

Составляющие данных сооружений необходимо обслуживать. Для этого существуют организации, задачей которых является выезд и автономное пребывание на месте проведения работ.

Для проживания людей в отдалённых от крупных поселений местах, часто применяются мобильные здания. Одним из вариантов данного типа жилища являются вагон-дома «Кедр» [2]. Их задачей является обеспечение работников местом комфортного проживания, отдыха и досуга.

Основная цель выпускной квалификационной работы (ВКР) – разработка автоматической системы регулирования (АСР) температуры в передвижном вагон-доме с использованием платформы Arduino Nano.

Для демонстраций функций внедряемой системы, а также оценки её надёжности и практической реализуемости разработан экспериментальный стенд, отражающий концепцию, принятую для АСР.

Спроектированная система решает следующие задачи:

- 1) поддержание благоприятных микроклиматических условий внутри вагон-дома в широком диапазоне окружающей температуры;
- 2) повышение экономичности потребления электроэнергии на отопление вагон-дома.

В данной работе будут отражены все основные этапы при проектировании автоматической системы регулирования температуры.

1 Обзор проектов с применением платформы Arduino

В статье [3] предлагается система автоматизации отопления, основанная на применении платы Arduino Nano. В проекте предусматривается измерение температуры с двух датчиков, а также организуется беспроводная передача полученных от них данных. Приводится сравнение и выбор измерителей температуры, описание принятого модуля радиосвязи, схема подключения всех элементов и программный код. В работе используются датчики температуры DHT22 и DS18B20, а также модуль радиосвязи nRF24L01. Монтаж схемы осуществлён на макетной плате.

Проект, представленный в источнике [4] ориентирован на создание АСР различных параметров теплицы. В частности, предусматривается контроль и управление поливом и освещением, а также регулирование температуры. В состав элементов проекта входят датчики температуры, влажности, углекислого газа. Система снабжена устройством вывода, в качестве которого используется дисплей LCD 2004. Автор проекта также разработал схему печатной платы для удобного монтажа и подключения всех устройств систем. Кроме того, разработчик представил в открытом доступе библиотеку, реализующую пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД) регулятор для Arduino. Результаты проекта показывают надёжность и экономичность использования платы Arduino Nano, имеющую в своём составе микроконтроллер ATmega328p, для решения подобных задач малой бытовой автоматизации [4].

Анализ вышеупомянутых проектов показал, что введение бытовой автоматизации снижает потребление электроэнергии и положительно сказывается на работе объекта, в котором она применена. Также можно сделать вывод о целесообразности применения платы Arduino Nano в домашней автоматизации.

2 Параметры микроклимата в жилых мобильных зданиях

Как уже отмечалось, одной из основных задач системы является поддержание комфортных микроклиматических параметров внутри вагон-дома. Эти параметры, в зависимости от назначения и вида здания, регламентируются в нормативной документации.

Для правильного выбора диапазона значений температуры, в пределах которого разработанная АСР должна поддерживать данный параметр, необходимо определить класс мобильных зданий, к которому относится рассматриваемый объект. Воспользуемся ГОСТ 25957-83 [5], в котором устанавливается разновидность мобильных зданий по их функциональному назначению. Согласно данному документу, принятый к рассмотрению объект автоматизации относится к жилым зданиям, а значит, нормы параметров его микроклимата регламентируются в нормативной документации для зданий жилых, а не производственных [5]. При этом, мобильные жилые здания могут находиться на территории проведения производственных работ.

В таблице 1, согласно ГОСТ 30494-2011, представлены оптимальная и допустимая температура воздуха для объекта автоматизации – передвижного жилого вагон-дома [6].

Таблица 1 – Оптимальные и допустимые параметры температуры воздуха в помещениях объекта автоматизации [6]

Период года	Температура воздуха, °С	
	оптимальная	допустимая
Холодный	20-22	18-24
Тёплый	22-25	20-28

Разработанная АСР нацелена на точное и постоянное поддержание приведённых в таблице 1 температур.

3 Анализ объекта автоматизации

В качестве объекта автоматизации принят, упомянутый ранее, передвижной вагон-дом «Кедр» К.04.1.1 [2], исполнения, рассчитанного на проживание восьми человек. Мобильное здание производится АО «Заводоуковский машиностроительный завод».

Прицепное мобильное здание «Кедр» имеет типовую конструкцию и состоит из вагон-дома, установленного на шасси тракторного прицепа. Каркас изделия является несущей конструкцией и приваривается к раме [2].

В таблице 2 представлены основные характеристики мобильного здания «Кедр» К.04.1.1 [2].

Таблица 2 – Основные характеристики вагон-дома «Кедр» К.04.1.1 [2]

Параметр	Значение
Длина здания, мм	8000
Ширина здания, мм	2500
Площадь (внутренняя) помещений, м ²	17,2

В качестве утеплителя применяются плиты из суспензионного полистирола. Толщина утеплителя составляет от 100 до 120 мм [2].

Электроснабжение рассматриваемого мобильного здания производится от внешних источников напряжением 380 или 220 В. В тамбуре вагон-дома производителем установлен щит управления, в нём смонтированы автоматические выключатели (АВ), а также устройство защитного отключения (УЗО) на 60 или 40 А. Снаружи здания расположен ящик электропровода. Общая установленная мощность оборудования и других потребителей может быть от 6 до 43 кВт, в зависимости от модификации изделия [2].

В выбранном объекте автоматизации «Кедр» К.04.1.1 для обогрева помещений используются электрические конвекторы, мощностью 1,5 кВт [2].

На рисунке 1 изображён упрощённый план мобильного вагон-дома «Кедр» К.04.1.1, основанный на официальных данных производителя [2]. В целях лучшего восприятия планировки большая часть элементов мебели не отражена.

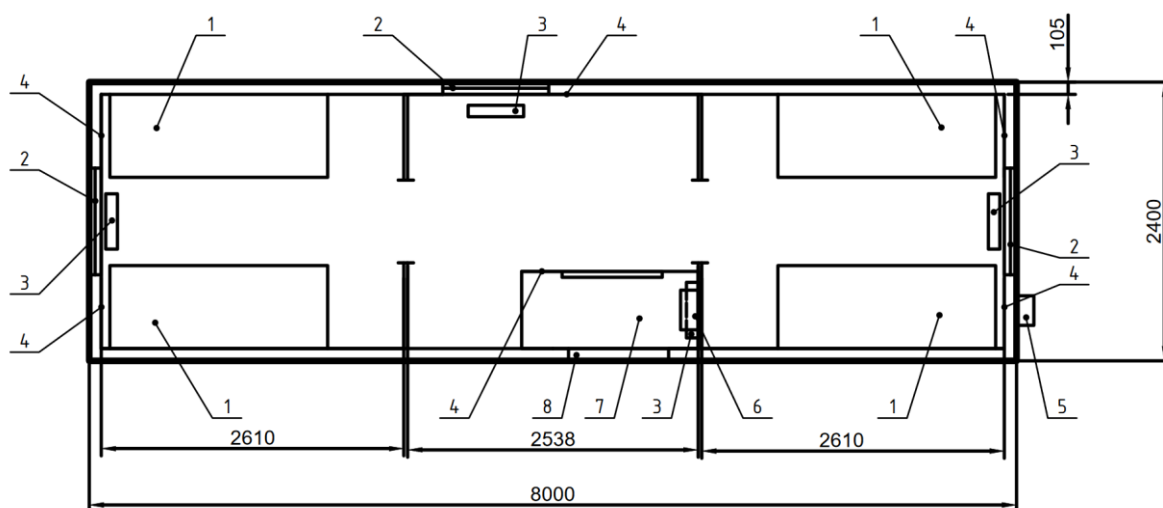


Рисунок 1 – Упрощённый план мобильного вагон-дома «Кедр» К.04.1.1 [2]:

1 – полка спальная, двухъярусная (8 шт.); 2 – окно; 3 – электрический конвектор, мощностью 1,5 кВт (4 шт.); 4 – место установки датчика температуры при использовании разработанной системы отопления; 5 – ящик электрического ввода; 6 – щит управления; 7 – тамбур; 8 – входная дверь в вагон-дом

Расположение датчиков во внедряемой системе выбрано таким образом, чтобы контролировать температуру объекта в наиболее значимых для проживающих людей местах, а также вблизи источников притока холодного воздуха. В каждом помещении, кроме тамбура, предполагается смонтировать по два датчика температуры. Это позволит получать усреднённые данные о нагреве воздуха и более точно контролировать температуру, делая микроклиматические условия проживания лучше. Тамбур планируется отапливать без использования разработанной системы, так как температура в нём будет резко снижаться из-за открытия входной двери, и обеспечить качественное регулирование при таких условиях затруднительно.

4 Разработка структуры АСР отопления

Под структурой системы автоматического регулирования подразумевается набор всех частей системы, сгруппированных по определённым функциональным или иным классификационным признакам, а также линии информационных связей между ними [7].

Графическое изображение полученных частей и связей, то есть структуры системы регулирования, называется структурной схемой данной АСР [7].

Структурная схема отражает концепцию разработанной системы и содержит в себе информацию о составе её основных элементов, а также связей между ними. При составлении проектной документации, эта схема выполняется в первую очередь и является основой для разработки остальных графических документов [7].

На ФЮРА.421000.008 С1 представлена структурная схема разработанной системы автоматического регулирования температуры воздуха рассматриваемого объекта автоматизации.

Несмотря на то, что вагон-дома не комплектуются персональными компьютерами (ПК) или иными средствами обработки и вывода информации, в работе рассмотрена возможность внедрения автоматизации верхнего уровня – SCADA системы. Это позволит контролировать температуру в комнатах и работу нагревателей, например, с ПК рабочего, проживающего в данном здании.

Переключатель режимов реализует ручной режим, предусмотренный для выполнения требований к надёжности системы и обеспечивающий возможность включения конвекторов при низких температурах внутри здания, когда работа электронных компонентов АСР невозможна или может привести к их выходу из строя.

5 Разработка функциональной схемы АСР

Функциональная схема является технически документом, содержащим в себе условные графические изображения оборудования, коммуникаций и показывающим состав и место установки средств автоматизации. Она даёт понимание о способах контроля и регулирования параметров объекта. На схеме условно чертится часть объекта автоматизации, которая необходима для понимания работы АСР, с указанием точек контроля параметров. Ниже строится таблица, в которую заносятся средства автоматизации, с указанием места их установки [7].

На ФЮРА.421000.008 С2 представлена разработанная функциональная схема АСР. В её верхней части условно изображены комнаты вагон-дома, электрические нагреватели и места монтажа датчиков температуры. Точки контроля температуры на схеме располагаются вблизи окон и входной двери, которые являются источниками холодного воздуха, а также у мест сна проживающих в вагон-доме людей.

Датчики температуры, имеющие позиционные обозначения 1а...6а, представляют собой первичные измерительные преобразователи температуры с функцией преобразования сигнала в цифровую форму. Их выходной цифровой сигнал соответствует протоколу 1-Wire [8]. В связи с этим, датчики температуры имеют условные обозначения ТУ. Каждый из датчиков изображён отдельно в месте своего монтажа и имеет обособленную линию связи.

В таблице, расположенной ниже условного изображения вагон-дома, все средства автоматизации, в зависимости от места их монтажа, распределены по применяемым в системе щитам. В АСР присутствуют щит силовой коммутации, щит автоматики и управления, а также отдельно выделено автоматизированное рабочее место (АРМ), роль которого выполняет ПК жильца мобильного здания.

6 Выбор технических средств автоматизации и составление заказной спецификации

Составление заказной спецификации технических средств автоматизации ведётся с учётом принятых решений в функциональной схеме. Зачастую, оба технических документа разрабатываются параллельно [7].

От состава средств автоматизации зависит общая стоимость реализации системы, а также её качество и надёжность, поэтому важно производить сравнение наиболее дорогостоящих элементов и обосновывать выбор принятого технического решения.

6.1 Выбор регулирующего устройства

Согласно цели работы, спроектированная система ориентирована на использование платы Arduino Nano в качестве регулирующего устройства, однако, для оценки его конкурентоспособности, проведено сравнение с техническими решениями, обладающими схожим функционалом.

Arduino Nano является продуктом торговой марки «Arduino» и способна реализовывать проекты малой домашней автоматизации. Основным элементом платы является микроконтроллер ATmega328p. Устройства линейки Arduino способны поддерживать проводную и беспроводную связь с компьютером и другими электронными девайсами, с помощью дополнительных преобразователей интерфейсов или компактных модулей Wi-Fi. Язык программирования высокого уровня C++ и широкий выбор бесплатных авторских и официальных библиотек, позволяют эмулировать большое количество различных протоколов связи. Официальная цена Arduino Nano составляет 1500 рублей [9].

Программируемое реле ПР100-24 фирмы ООО «ОВЕН» предназначено для малых локальных систем автоматизации и исполнено в едином корпусе. Программирование осуществляется на языке FBD в среде OwenLogic. Цена устройства на сайте производителя составляет 5160 рублей [10].

Универсальные логические модули SIEMENS LOGO! производителя «Siemens AG» представляют собой модульную систему, в состав которой входит базовый модуль с вычислительным устройством, модули расширения и коммуникационные модули. Программирование устройства осуществляется на языках LAD или FBD в среде LOGO!. Цена базового модуля приблизительно равна 8890 рублей [11].

В приложении А представлена таблица с характеристиками сравниваемых регулирующих устройств.

На основании анализа конкурирующих решений, можно сделать вывод, что Arduino Nano, имея низкую цену, обладает всеми необходимыми параметрами для реализации системы в условиях жилого помещения. Гибкость языка программирования C++ позволяет, с помощью доступных библиотек, производить эмуляцию различных промышленных протоколов, таких как Modbus RTU [12]. Преобразователи интерфейсов в виде отдельных или встраиваемых модулей дают возможность расширять коммуникационные возможности устройства [9]. В проектируемой АСР отопления в качестве регулирующего устройства принята платформа Arduino Nano.

6.2 Выбор датчиков температуры

Датчики температуры воздуха для объекта автоматизации должны быть рассчитаны на применение в бытовых, а не производственных условиях, так как будут использоваться в жилых помещениях вагон-дома.

Выбираемые средства измерения должны обладать следующими качествами: компактность, низкая цена, приемлемая точность и удобный интерфейс передачи данных.

Рассмотрены следующие датчики температуры:

- 1) AD22100 производителя Analog Devices, с ценой 390 рублей [13];
- 2) LM75A фирмы NXP Semiconductors, с ценой 36 рублей [14];
- 3) DS18B20 компании Maxim Integrated, с ценой 180 рублей [8].

В таблице 3 представлены технические характеристики рассматриваемых датчиков температуры.

Таблица 3 – Технические характеристики датчиков температуры

Тип датчика температуры	AD22100K	LM75A	DS18B20
Минимальная измеряемая температура, °C	Минус 50	Минус 55	Минус 55
Максимальная измеряемая температура, °C	Плюс 150	Плюс 125	Плюс 125
Предел допускаемых погрешностей	$\pm 0,5$ °C	± 2 °C	$\pm 0,5$ °C
Выходной сигнал	Аналоговый 0...5 В	Цифровой I ² C	Цифровой 1-Wire
Ток потребления	650 мкА	1 мА	1 мА
Напряжение питания	4...6 В	0...6 В	3...5,5 В

На основании анализа данных, приведённых в таблице 3 и ценового фактора, выбран датчик DS18B20, так как он обладает высокой точностью, приемлемой ценой и удобным для подключения нескольких датчиков интерфейсом 1-Wire [8]. 1-Wire является интерфейсом с поддержкой подключения множества устройств к его сети. При его использовании, ведущее устройство, в роли которого в данной АСР выступает Arduino Nano, посылает команды датчикам, а они, в свою очередь, отправляют ответные сигналы. Наибольшая длина линии связи данного интерфейса может составлять 300 м, с подключением до трёхсот устройств. Для возможности корректной работы устройств на шине с контроллером, каждое из них имеет свой индивидуальный адрес, размером 64 бита [15].

6.3 Выбор индикатора температуры

Показывающее устройство в системе должно представлять оператору номер комнаты, текущую температуру и её уставку.

В качестве претендентов выбраны следующие показывающие устройства:

- 1) светодиодный индикатор СМИ2 производителя ООО «ОВЕН», ценой 3024 рубля [16];
- 2) символьный индикатор DCB1602-03E компании Blaze Display Technology, ценой 620 рублей [17];
- 3) символьный индикатор MT-20S4A-2YLG-I фирмы ООО «МЭЛТ», ценой 867 рублей [18].

Характеристики конкурирующих индикаторов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики сравниваемых индикаторов

Тип индикатора	СМИ2	DCB1602-03E	MT-20S4A-2YLG-I
Интерфейс	RS-485	Параллельный 4/8 бит	I ² C или параллельный 4/8 бит
Напряжение питания	10,5...30 В	5 В	5 В
Длина, мм	48	80	98
Высота, мм	26	36	60
Глубина, мм	65	13,1	13
Количество разрядов или символов	4 разряда	32 символа	80 символов
Минимальная рабочая температура, °C	минус 40 °C	минус 20 °C	минус 20 °C

Продолжение таблицы 4

	СМИ2	DCB1602-03E	MT-20S4A-2YLG-I
Максимальная рабочая температура, °C	плюс 70°C	плюс 70°C	плюс 70°C

На основе данных таблицы 4 и цен конкурирующих решений выбран жидкокристаллический индикатор буквенно-цифровой MT-20S4A-2YLG-I. Он имеет величину напряжения питания, которую способен выдавать блок питания Arduino Nano, а также может отображать большое количество символов для буквенной и цифровой информации. Используемый принятым индикатором интерфейс I²C рассчитан всего на четыре провода для питания и передачи информации дисплею, а также не требует дополнительных преобразователей [18].

6.4 Выбор коммутирующих устройств

Реле в разработанной АСР предназначены для коммутирования питания электрообогревателей, благодаря чему реализуется регулирование отопления. Контактор участвует в пуске всех обогревателей при ручном режиме их управления.

Так как система рассчитана на возможность внедрения ПИД-регулирования, рассматривались твердотельные реле с управлением коммутацией при переходе через ноль. Такой способ переключений обеспечивает отсутствие помех [19].

Расчётный ток электрообогревателей равен [20]:

$$I_{p.э} = \frac{P_э}{U_{\phi} \cdot \cos(\varphi)} = \frac{1500}{220 \cdot 0,98} = 6,96, \quad (6.1)$$

где $I_{p.э}$ – длительный расчётный ток электрообогревателя рассматриваемого вагон-дома, А;

$P_э$ – активная мощность электрообогревателя, Вт;

U_{ϕ} – фазное напряжение сети, В;

$\cos(\varphi)$ – коэффициент мощности, который, согласно СП 31-110-2003, принимается равным 0,98 ($\sin(\varphi) = 0,199$) [21].

С учётом вышесказанного, приняты твердотельные реле SSR-25DA фирмы «FOTEK» типа DC-AC, с номинальным управляющим напряжением 3...32 В, номинальным напряжением нагрузки 24...380 В и максимальным длительным током 25 А [19].

В качестве контактора для разработанной системы принята модель ПМУ 0910 компании «Schneider Electric», рассчитанного на четыре контакта, с номинальным током каждой фазы 25 А по категории AC-1 при малоиндуктивной нагрузке [22].

7 Разработка монтажной схемы внешних проводок

Монтажные схемы применяются при монтажных, наладочных, ремонтных и других видах работ, где необходимо производить действия с различными линиями связи элементов системы. Они подразделяются на монтажные схемы щитовых конструкций и схемы внешних проводок [7].

Схема монтажная внешних электрических проводок разработанной АСР отопления вагон-дома представлена на ФЮРА.421000.008 С4.

В верхней части листа разработанной схемы расположена таблица, несущая информацию об измеряемом датчиками температуры параметре, их месте установки и позиционном обозначении, принимаемом из функциональной схемы.

Как видно по схеме, в разработанной АСР применяются два щита. Это сделано с целью разделить часть системы с сетевым напряжением, от части с напряжением 5 В, чтобы уменьшить влияние помех переменного тока на электронику.

Из щита автоматики выходит кабели к датчикам температуры и USB-кабель для связи Arduino Nano с АРМ.

Между щитами, для передачи питания и управляющих сигналов, протянуты медные экранированные монтажные кабели с защитой из поливинилхлоридного (ПВХ) пластиката. Их наименование МКЭШнг(А)-LS [23].

В качестве линий для передачи низковольтного питания и информации, приняты кабели КГВВнг(А)-LS, также имеющие защитную оболочку из ПВХ пластиката и выполняющие требования по пожарной безопасности [24].

Для защитного проводника выбран провод установочный с виниловой изоляцией, сечением $1,5\text{мм}^2$.

Площади поперечного сечения проводников силовых кабелей имеют значение $1,5\text{ мм}^2$. Сечения всех линий питания напряжением 5 В, передачи информационных и управляющих сигналов приняты равными $0,5\text{ мм}^2$.

8 Разработка принципиальной электрической схемы

Для понимания принципа и логики работы автоматической системы регулирования создаются принципиальные электрические схемы, которые содержат полный состав электрооборудования и средств автоматизации. Данные схемы наиболее подробно отражают взаимодействие всех элементов систем и определяя роль каждого из них [7].

Принципиальной электрической схемы АСР отопления вагон-дома представлена на ФЮРА.421000.008 ЭЗ.

На выполненной схеме длинными пунктирными линиями обозначены границы используемых в системе щитов, их названия подписаны. Короткой пунктирной линией обозначены границы монтажной печатной платы, установленной в щите автоматики. Перечень элементов щита силовой коммутации представлен на ФЮРА.421000.008 ПЭЗ.

В щите силового управления, для выполнения требований электробезопасности, на каждую фазу установлены выключатели автоматические дифференциального тока. Они совмещают в себе функционал УЗО и АВ, обеспечивают защиту человека от токов прикосновения и утечки, а также предотвращают перегрев электрической проводки и возникновение пожара, вследствие превышения допустимого значения тока. Кроме того, на фазной линии, идущей к тумблеру SA1, обеспечивающему переключение автоматического и ручного режимов работы системы, установлен АВ QS1, который обеспечивает защиту цепи от токов короткого замыкания и перегрузок.

Механический биметаллический термостат под обозначением SK1 предназначен для недопущения включения автоматического режима при низких температурах внутри вагон-дома. Предполагается, что в этом случае нагрев воздуха помещений будет произведён в ручном режиме, предусмотренным системой, и далее работа автоматического режима станет возможной и безопасной для оборудования.

9 Разработка общего вида щитов

На чертежах общего вида щитов изображают их внешний вид, внутренние плоскости, установочные и габаритные размеры. Данный технический документ комплектуется перечнем составных частей и таблицей надписей. Чертежи общего вида используются при монтажных, наладочных и ремонтных работах [7].

В состав перечня составных частей входят следующие разделы [7]:

- 1) документация, с указанием схем и перечней, на основании которых разрабатывался чертёж;
- 2) стандартные изделия, с указанием нормативных документов, регламентирующих их изготовление;
- 3) прочие изделия;
- 4) материалы, в состав которых входят проводники, используемые в щитовой конструкции.

В таблицу надписей заносятся их номера, соответствующие позиционным обозначениям на чертеже, текст надписи и количество [7].

На ФЮРА.421.000.008 ВО, состоящей из двух листов, представлены чертежи общих видов применяемых в АСР щитов. На первом листе изображён щит силового управления. Представлены его виды спереди, на внутреннюю переднюю стенку, а также разрез. Количество необходимых изображений выбирается таким образом, чтобы обеспечить наглядное понимание габаритов и формы составляющих элементов щита. На втором листе представлен чертёж щита автоматики, с аналогичным количеством видов и разрезов. Масштаб обоих изображений равен 1:2. Кроме чертежей щитов, на листах представлены перечни составных частей и таблицы надписей в рамках.

10 Расчёт оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора

10.1 Идентификация объекта управления

Возможности языка программирования C++, используемого в Arduino Nano, позволяют реализовывать регулирование по различным законам управления, включая ПИД-закон [4]. Существует различные готовые библиотеки, организующие работу устройства по ПИД-закону регулирования. На рисунке 2 представлен фрагмент кода одной из подобных библиотек, показывающий возможность настройки коэффициентов пропорционального, интегрирующего и дифференцирующего звена [12].

```
#include "GyverPID.h"

GyverPID regulator(0.1, 0.05, 0.01, 10); // коэф. П, коэф. И, коэф. Д, период дискретизации dt (мс)
// или так:
// GyverPID regulator(0.1, 0.05, 0.01); // можно П, И, Д, без dt, dt будет по умолч. 100 мс

void setup() {
    regulator.setDirection(NORMAL); // направление регулирования (NORMAL/REVERSE). ПО УМОЛЧАНИЮ СТОИТ NORMAL
    regulator.setLimits(0, 255); // пределы (ставим для 8 битного ШИМ). ПО УМОЛЧАНИЮ СТОЯТ 0 И 255
    regulator.setpoint = 50; // сообщаем регулятору температуру, которую он должен поддерживать

    // в процессе работы можно менять коэффициенты
    regulator.Kp = 5.2;
    regulator.Ki += 0.5;
    regulator.Kd = 0;
}

void loop() {
    int temp; // читаем с датчика температуру
    regulator.input = temp; // сообщаем регулятору текущую температуру

    // getResultTimer возвращает значение для управляющего устройства
    // (после вызова можно получать это значение как regulator.output)
    // обновление происходит по встроенному таймеру на millis()
    analogWrite(3, regulator.getResultTimer()); // отправляем на мосфет

    // .getResultTimer() по сути возвращает regulator.output
}
```

Рисунок 2 – Фрагмент кода программы на Arduino, реализующий ПИД-регулирование с помощью библиотеки [12]

Как видно из рисунка 2, изменением соответствующих параметров, можно добиться работы только по пропорциональному (П) или пропорционально-интегральному (ПИ) закону.

Данные работы экспериментального стенда показали, что АСР температуры воздуха внутри вагон-дома будет иметь ощутимое запаздывание, как и любая система, целью которой является поддержание

заданной температуры в объёме помещения. Для систем, имеющих большое запаздывание, рекомендуется использовать регулятор типа ПИ [25].

Для идентификации объекта управления необходимо иметь его переходную или весовую временную характеристику. Разработанный стенд, цель которого – получение данных о возможности и качестве работы элементов системы в единой связке, не позволяет получить достоверную кривую разгона реально объекта, так как не моделирует тепловые процессы, происходящие в вагон-доме. Получить кривую разгона, на основе экспериментов в реальном исследуемом мобильном здании также не представляется возможным. Для представления алгоритма расчёта параметров ПИ регулятора, внедрение которого возможно в Arduino Nano и разработанную систему, кривая разгона была спрогнозирована, с учётом возможной кривой разгона объекта. При этом учитывались размеры комнат, где будет происходить регулирование температуры, время выхода регулируемой величины на постоянное значение в кривой разгона объекта, а также оценивалось возможное запаздывание системы. Кривая разгона объекта представлена на рисунке 3. На оси абсцисс располагается время t , а на оси ординат – температура воздуха T .

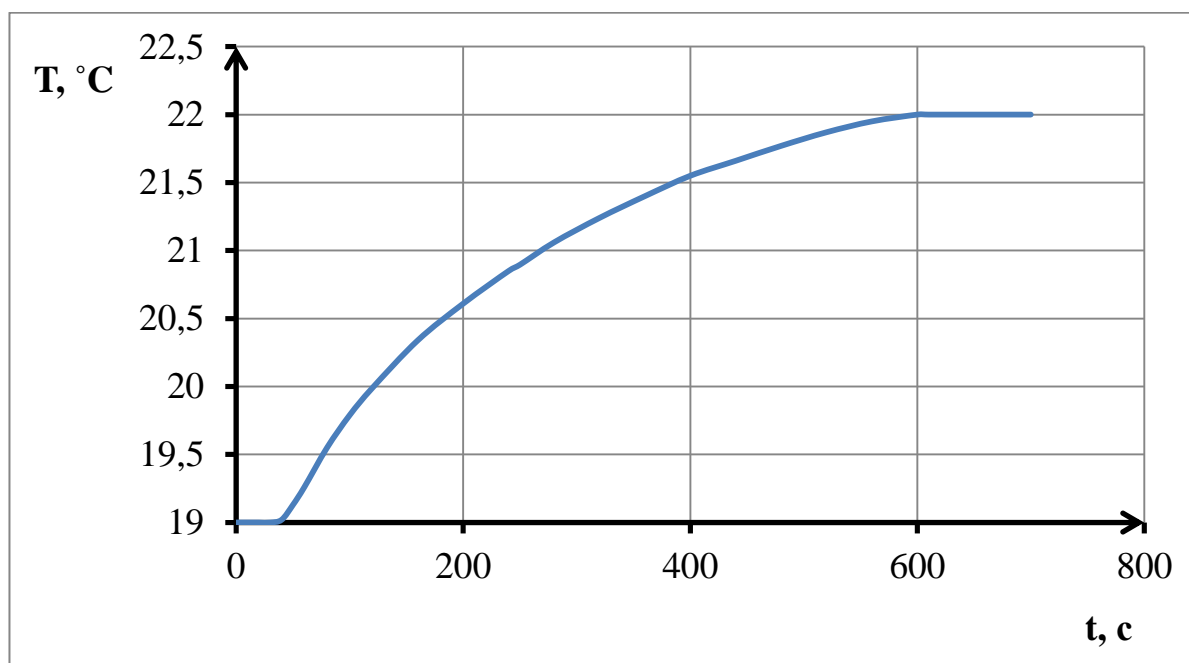


Рисунок 3 – Кривая разгона объекта

Идентификация объекта управления представляет собой определение его математической модели. Для этого необходимо определить тип звена, к которому относится объект, и рассчитать, используя специальные методы, параметры передаточной функции этого звена.

Для проведения идентификации объекта использован метод, описанный в источнике [25].

Передаточная функция для кривой разгона представляет собой апериодическое (инерционное) звено первого порядка с запаздыванием:

$$W_{об} = \frac{k_{об}}{T_{об} \cdot P + 1} \cdot e^{-\tau \cdot P}, \quad (10.1)$$

где $W_{об}$ – передаточная функция объекта;

$k_{об}$ – коэффициент передачи звена;

$T_{об}$ – постоянная времени;

P – оператор Лапласа;

τ – величина (время) запаздывания.

Для получения передаточной функции объекта необходимо найти параметры $T_{об}$, τ и $k_{об}$. Сделать это можно непосредственно по кривой разгона, изображённой на рисунке 3 [25].

Время запаздывания τ – это промежуток времени от момента подачи возмущающего воздействия до момента, когда регулируемая величина начнёт возрастать.

Постоянная времени $T_{об}$ – это время $t_k - \tau$, в течении которого $y(t)$ достигает величины $(1 - e^{-1}) \cdot \Delta y(\infty)$, что приблизительно равно 0,632 от установившегося значения $\Delta y(\infty)$.

Коэффициент передачи звена или коэффициент усиления $k_{об}$ определяется отношением:

$$k_{об} = \frac{\Delta y(\infty)}{\Delta x} = \frac{3}{1,5} = 2, \quad (10.2)$$

где $\Delta y(\infty)$ – установившееся изменение значения регулируемого параметра, равное 3 °C;

Δx – величина ступенчатого воздействия на объект, равная 1,5 кВт.

На рисунке 4 представлено графическое нахождение параметров t_k , τ и $T_{об}$ [10.2].

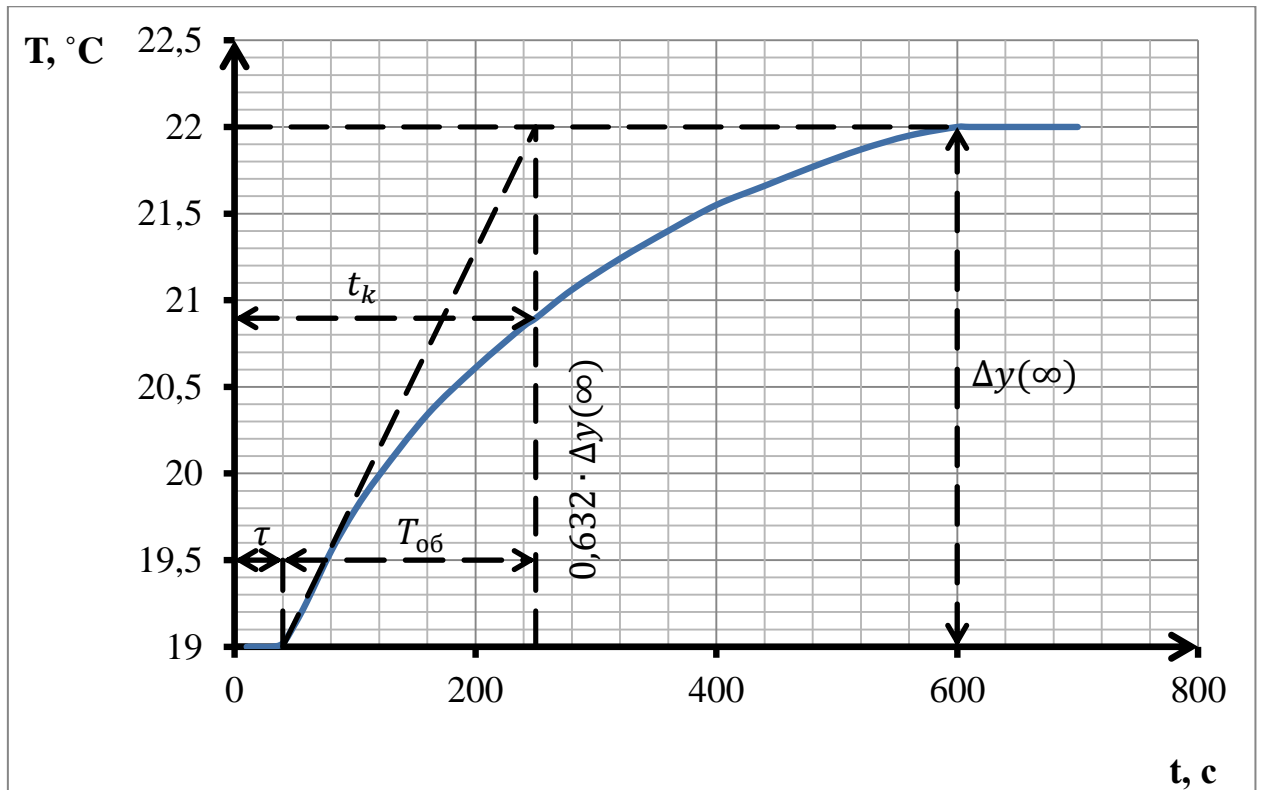


Рисунок 4 – Графическое нахождение параметров t_k , τ и $T_{об}$

По рисунку 4 определены численные значения искомых параметров объекта:

$$0,632 \cdot \Delta y(\infty) = 0,632 \cdot 3 \text{ °C} = 1,896 \text{ °C}, \quad (10.3)$$

$$t_k = 250 \text{ с}, \quad (10.4)$$

$$\tau = 40 \text{ с}; \quad (10.5)$$

$$T_{об} = t_k - \tau = 250 \text{ с} - 40 \text{ с} = 210 \text{ с}. \quad (10.6)$$

Таким образом, передаточная функция объекта имеет следующий вид:

$$W_{об}(P) = \frac{2}{210 \cdot P + 1} \cdot e^{-40 \cdot P}. \quad (10.7)$$

10.2 Расчёт и построение границы заданного запаса устойчивости АСР

Для расчёта и построения границы заданного запаса устойчивости АСР использован корневой метод [26].

При использовании метода необходимо вывести расширенную амплитудно-фазочастотную характеристику (РАФЧХ) объекта. РАФЧХ какого-либо звена можно получить подстановкой в передаточную функцию этого звена $W(P)$ оператора $P = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$ или $P = -\eta + i \cdot \omega$. Это позволяет получить соответственно границы заданной степени колебательности системы m или границы заданной степени устойчивости η в пространстве параметров настройки регулятора.

Так как рассматриваемая АСР обладает довольно большим запаздыванием, степень затухания ψ принята равной 0,95.

Необходимая степень колебательности системы:

$$m = -\frac{\ln(1 - \psi)}{2 \cdot \pi} = -\frac{\ln(1 - 0,95)}{2 \cdot 3,14} = 0,477, \quad (10.8)$$

где m – степень колебательности системы;

ψ – степень затухания.

Для определения коэффициента передачи (усиления) k_p и постоянной времени $T_{\text{и}}$ ПИ-регулятора, с учётом требования к заданной степени затухания и минимизации первого интегрального критерия, использованы формулы корневого метода:

$$\frac{k_p}{T_{\text{и}}} = -\frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot Im_{\text{об}}(m, \omega)}{A_{\text{об}}^2(m, \omega)}, \quad (10.9)$$

$$k_p = -\frac{m \cdot Im_{\text{об}}(m, \omega) + Re_{\text{об}}(m, \omega)}{A_{\text{об}}^2(m, \omega)}, \quad (10.10)$$

где $Re_{\text{об}}(m, \omega)$ – расширенная вещественная частотная характеристика объекта;

$Im_{\text{об}}(m, \omega)$ – расширенная мнимая частотная характеристика объекта;

$A_{\text{об}}(m, \omega)$ – расширенная амплитудно-частотная характеристика объекта.

После составления вышеприведённых уравнений строится граница заданного запаса устойчивости, по которой определяются параметры k_p и $T_{\text{и}}$, минимизирующие принятые интегральные критерии качества работы системы.

РАФЧХ объекта определена с учётом полученной передаточной функции (10.8), путём подстановки оператора $P = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$:

$$W_{об}(m, i\omega) = \frac{k_{об} \cdot e^{-\tau \cdot P}}{T_{об} \cdot P + 1} = \frac{2 \cdot e^{-40 \cdot (-0,477 \cdot \omega + i \cdot \omega)}}{210 \cdot (-0,477 \cdot \omega + i \cdot \omega) + 1}. \quad (10.11)$$

Дальнейшие математические выкладки и преобразования выполнены с помощью программы Maple.

Ниже представлены выделенные вещественная и мнимая части РАФЧХ объекта, а также его расширенная амплитудно-частотная характеристика (РАЧХ).

Расширенная вещественная частотная характеристика (РВЧХ):

$$Re_{об}(m, \omega) = Re(W_{об}(m, i\omega)), \quad (10.12)$$

$$Re_{об}(m, \omega) = - \frac{2 \cdot e^{19,08 \cdot \omega} \cdot (100,17 \cdot \omega \cdot \cos(40 \cdot \omega) - \cos(40 \cdot \omega) + 210 \cdot \omega \cdot \sin(40 \cdot \omega))}{54134,0289 \cdot \omega^2 - 200,34 \cdot \omega + 1}. \quad (10.13)$$

Расширенная мнимая частотная характеристика (РМЧХ):

$$Im_{об}(m, \omega) = Im(W_{об}(m, i\omega)), \quad (10.14)$$

$$Im_{об}(m, \omega) = - \frac{2 \cdot e^{19,08 \cdot \omega} \cdot (210 \cdot \omega \cdot \cos(40 \cdot \omega) - 100,17 \cdot \omega \cdot \sin(40 \cdot \omega) + \sin(40 \cdot \omega))}{54134,0289 \cdot \omega^2 - 200,34 \cdot \omega + 1}. \quad (10.15)$$

РАЧХ объекта:

$$A_{об}(m, \omega) = \sqrt{Re_{об}(m, \omega)^2 + Im_{об}(m, \omega)^2}, \quad (10.16)$$

$$A_{об}(m, \omega) = \frac{2 \cdot e^{19,08 \cdot \omega}}{\sqrt{54134,0289 \cdot \omega^2 - 200,34 \cdot \omega + 1}}. \quad (10.17)$$

Нахождение расширенной фазочастотной характеристики (РФЧХ) не требуется, так как эта характеристика не присутствует в расчётной системе уравнений корневого метода для ПИ-регулятора, однако, для представления динамики всех составляющих РАФЧ, её значения при разных частотах приведены в таблице ниже.

РФЧХ объекта:

$$\varphi_{об}(m, \omega) = \arctg \frac{Im_{об}(m, \omega)}{Re_{об}(m, \omega)} \pm k \cdot \pi, k = 0, 1, 2 \dots, \quad (10.18)$$

где $\varphi_{об}(m, \omega)$ – РФЧХ объекта;

k – значение, учитывающее периодичность функции \arctg .

В таблице 5 представлены значения РВЧХ, РМЧХ РАЧХ и РФЧХ в зависимости от частоты ω . Диапазон частот $\omega = (0 \dots 0,038) \text{ с}^{-1}$, шаг по частоте $\Delta\omega = 0,002 \text{ с}^{-1}$.

Таблица 5 – Значения РВЧХ, РМЧХ РАЧХ и РФЧХ в зависимости от частоты ω

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re_{об}(m, \omega)$	$Im_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$	$\varphi_{об}(m, \omega)$
0	2,00	0	2	0
0,002	1,94	-1,23	2,30	-0,564
0,004	0,928	-1,87	2,09	-1,11
0,006	0,113	-1,69	1,70	-1,50
0,008	-0,277	-1,35	1,38	-1,77
0,010	-0,450	-1,06	1,15	-1,97
0,012	-0,528	-0,843	0,995	-2,13
0,014	-0,564	-0,676	0,880	-2,27
0,016	-0,580	-0,544	0,795	-2,39
0,018	-0,585	-0,437	0,730	-2,50
0,020	-0,583	-0,347	0,678	-2,61
0,022	-0,578	-0,269	0,637	-2,71
0,024	-0,570	-0,201	0,604	-2,80
0,026	-0,560	-0,140	0,577	-2,90
0,028	-0,548	-0,0845	0,555	-2,99
0,030	-0,535	-0,0336	0,536	-3,08
0,032	-0,521	0,0137	0,521	3,12

Продолжение таблицы 5

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re_{об}(m, \omega)$	$Im_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$	$\varphi_{об}(m, \omega)$
0,034	-0,505	0,0579	0,508	3,03
0,036	-0,487	0,0993	0,497	2,94
0,038	-0,468	0,138	0,488	2,85

Для построения границы заданного запаса устойчивости АСР необходимо определить значения $k_p/T_{и}$ и k_p из расчётных формул корневого метода, зависящих от переменной ω и принятой постоянной m . В таблице 6 представлены значения $k_p/T_{и}$ и k_p при $m = 0,477$ в диапазоне изменения частоты $\omega = (0 \dots 0,038) \text{с}^{-1}$ и шагом по частоте $\Delta\omega = 0,002 \text{с}^{-1}$.

Таблица 6 – Значения $k_p/T_{и}$ и k_p при $m = 0,477$ в зависимости от частоты ω

$\omega, \text{с}^{-1}$	$k_p(m, \omega)$	$\frac{k_p}{T_{и}}(m, \omega)$
0	-0,500	0
0,002	-0,257	0,000570
0,004	-0,00775	0,00210
0,006	0,241	0,00433
0,008	0,485	0,00699
0,010	0,720	0,00981
0,012	0,940	0,0125
0,014	1,14	0,0150
0,016	1,33	0,0169
0,018	1,49	0,0181
0,020	1,63	0,0185
0,022	1,74	0,0179
0,024	1,82	0,0162

Продолжение таблицы 6

$\omega, \text{с}^{-1}$	$k_p(m, \omega)$	$\frac{k_p}{T_n}(m, \omega)$
0,026	1,88	0,0134
0,028	1,91	0,00944
0,030	1,92	0,00430
0,032	1,90	-0,00199
0,034	1,85	-0,00937
0,036	1,78	-0,0178
0,038	1,69	-0,0271

По данным таблицы 6 построен график зависимости k_p/T_n от k_p , изображённый на рисунке 5. Полученный график – это граница заданного запаса устойчивости АСР, соответствующая степени колебательности системы $m = 0,477$, которая характеризует принятую степень затухания $\psi = 0,95$.

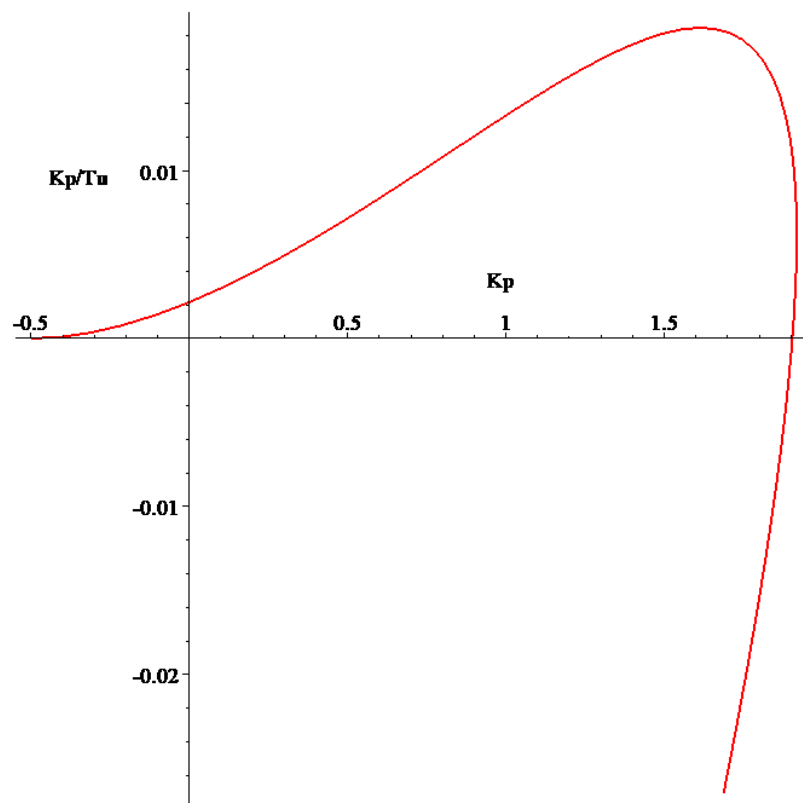


Рисунок 5– Граница заданного запаса устойчивости АСР

10.3 Определение оптимальных параметров настройки регулятора

Поиск параметров настройки регулятора, после получения границы заданного запаса устойчивости, осуществляется вдоль этой границы до достижения минимума принятого интегрального критерия качества, что будет соответствовать требуемому значению степени затухания.

Для рассматриваемой системы принят второй или квадратичный интегральный критерий качества, так как он учитывает основные недостатки первого интегрального критерия. В общем случае квадратичный интегральный критерий качества имеет вид:

$$I_2 = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt, \quad (10.19)$$

где I_2 – второй или квадратичный интегральный критерий качества;

ε – отклонение в переходном процессе;

t – время, с.

Для минимизации второго интегрального критерия качества необходимо найти точку $0,95 \cdot \max(k_p/T_{и})$ на границе запаса устойчивости в сторону большего значения частоты, следовательно, она располагается правее максимума границы.

Для точного определения оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора, с помощью программного обеспечения (ПО) Maple, найдена первая производная от параметрически заданной функции, изображающей границу заданного запаса устойчивости. Далее первая производная приравнена к нулю, что позволило найти значение частоты системы в точке экстремума кривой границы устойчивости. Подстановкой полученной частоты в выражение (10.10) найдено максимальное значение $k_p/T_{и}$. Умножением $\max(k_p/T_{и})$ на 0,95 получено значение ординаты искомой точки:

$$0,95 \cdot \max\left(\frac{k_p}{T_{и}}\right) = 0,01757202487. \quad (10.20)$$

Для определения искомой резонансной частоты замкнутой системы выражение (10.10) приравнено к значению (10.20). Решение полученного при этом уравнение даёт резонансную частоту замкнутой системы:

$$\omega_{\text{рез}} = 0,02250324788 \text{ с}^{-1}. \quad (10.21)$$

Значение (10.21) подставлено в выражение (10.11) и найден коэффициент передачи (усиления) ПИ-регулятора:

$$k_p = 1,762024474. \quad (10.22)$$

Постоянная времени ПИ-регулятора равна:

$$T_{\text{и}} = \frac{k_p}{\left(\frac{k_p}{T_{\text{и}}}\right)} = \frac{1,762024474}{0,01757202487} = 100,2744127. \quad (10.23)$$

Расчёт переходных процессов системы с регулятором по каналам регулирующего и возмущающего воздействий, а также оценка качества регулирования представлены в приложении Б. Данное решение принято с целью соблюдения требований к объёму расчётно-пояснительной записки ВКР ТПУ.

По полученным в приложении Б результатам можно сделать вывод, что переходные характеристики АСР по каналам регулирующего и возмущающего воздействий имеют приемлемые показатели качества. Статические ошибки получились равными нулю, что характерно при использовании И-закона регулирования. Времена регулирования получились меньше, чем на кривой разгона, что подтверждает эффективность внедрения ПИ-регулятора в систему. Степени затухания соответствуют принятой требуемой.

11 Экспериментальный стенд и программное обеспечение системы

11.1 Разработка экспериментального стенда

Стенд собран с целью определения совместимости и надёжности элементов системы, работающих в единой связке. Его задачей не является моделирование тепловых процессов, присутствующих в реальном объекте, поэтому он не имеет схожей с мобильным зданием планировки и тепловой защиты. Стенд имеет форму параллелепипеда, длину 0,43 м, ширину 0,23 м, высоту 0,217 м и разделён на два отсека. Графические материалы, демонстрирующие внешний вид и состав экспериментального стенда представлены в приложении В.

На лицевой стороне крышки первого отсека смонтированы кнопки выбора комнат и задания уставки, жидкокристаллический индикатор буквенно-цифровой, а также тумблер переключения режимов работы системы.

В первом отсеке смонтированы защитные и коммутирующие устройства, блок питания, монтажная плата и Arduino Nano.

Второй отсек представляет собой экспериментальный отапливаемый объём. В нём располагаются датчики температуры, розетка и два трубчатых электронагревателя (ТЭН). Нагревательные элементы имеют общую мощность 25 Вт и скрыты от основного объёма отсека экраном, задача которого предотвратить прямое тепловое излучение датчиков, тем самым приблизив условия нагрева воздуха в стенде к тем, что существуют объекте.

Большинство проведённых экспериментов со стендом были направлены на установление помехозащищённости и стойкости к статическому электричеству электронных компонентов системы.

В ходе тестирования работы стенда, установлено, что используемые элементы совместимы, надёжны и способны выполнять заданные функции в условиях внутренних помещений вагон-дома. Для повышения помехозащищённости электроники, в проекте планируется использование

экранированных кабелей для связи индикатора, кнопок и твердотельных реле с монтажной печатной платой, на которой смонтировано Arduino Nano. Также предусматривается использование двух щитов, для разделения сетевого напряжения и коммутирующих устройств от слаботочной электроники и информационных линий.

11.2 Написание программного кода

Написание программного кода для проектируемой системы отопления относится к этапу разработки среднего уровня автоматизации, который называют уровнем контроллеров.

Для написания программного кода использовалась интегрированная среда разработки Arduino IDE и редактор исходного кода Visual Studio Code (VS Code) [27, 28].

Arduino IDE является официальной бесплатной программной оболочкой фирмы Arduino и предназначена для написания кода, его компиляции и загрузки на микроконтроллер устройства [27].

Редактор исходного кода VS Code разработан компаний Microsoft и также бесплатно распространяется на официальном сайте. Он поддерживает ряд языков программирования, имеет мощную систему настроек и большое количество загружаемых расширений, одно из которых называется Platform IO и позволяет работать с устройствами Arduino [28].

Стоит отметить, что Arduino IDE и расширение Platform IO в редакторе VS Code не имеют программных средств отладки написанной программы, такие как эмуляция контроллера или виртуальный контроллер [28]. По этой причине, проверка логики работы кода осуществлялась, путём его непосредственной загрузки на Arduino Nano и оценки правильности реализации заложенного функционала программы.

Часть разработанного программного кода, реализующая работу АСР регулирования отопления в стенде, выполняющем роль первой комнаты вагон-дома, представлена в приложении Г.

Функционал кода обеспечивает:

- 1) управление кнопками выбора комнаты и задания уставки температуры;
- 2) вывод информации на жидкокристаллическом индикаторе о номере выбранной комнаты, её текущей температуре и уставке, а также, в целях отладки, разность текущей температуры за 10 секунд;
- 3) передачу данных по протоколу Modbus на АРМ, в качестве которого используется ПК;
- 4) реализацию управления, предупредительных и аварийных режимов АСР в SCADA-системе.

11.3 Мнемосхема системы и возможности SCADA-системы

Верхний уровень автоматизированных систем управления предназначен для обеспечения связи нижнего уровня – датчиков и исполнительных механизмов, с оператором. В состав верхнего уровня входит так называемый человеко-машинный интерфейс, состоящий из электронно-вычислительных машин, в частности ПК, а также средств ввода-вывода информации. Совокупность перечисленных элементов составляет АРМ, где оператор контролирует параметры и состояния процессов и выдаёт управляющие команды при ручном режиме управления или регулирования [29].

Частным и наиболее распространённым способом организации человеко-машинного интерфейса является SCADA-система, включающая в себя специализированное программное обеспечение (ПО), которое обеспечивает сбор, хранение и визуализацию данных с контроллера и организует ручное управление процессом [29].

Для организации связи Arduino Nano со SCADA-системой использовался OPC сервер «MasterOPC Universal Modbus Server Demo 32 Build – 4.2.48» компании «ИнСАТ» [30]. Это бесплатная лицензионная версия OPC сервера с ограничением в регистрацию тридцати двух переменных.

В качестве программы для реализации человека-машинного интерфейса использована SCADA-система, основанная на инструментальной среде «MasterSCADA 3.11 RT32» компании «ИнСАР» [31]. Это бесплатная версия локальной SCADA-системы. Она позволяет разрабатывать мнемосхемы проектов, а также производить отладку связи с OPC-сервером.

Программный код предусматривает реализацию вывода в SCADA-систему данных о текущей температуре и уставке всех комнат. Мнемосхема позволяет параллельно для всех комнат осуществлять ввод уставки, переключение ручного и автоматического режимов управления, организовать управление реле в ручном режиме, а также сигнализировать о выбранном режиме и работе реле. На рисунке 6 представлен внешний вид мнемосхемы в работе. В первой комнате выводятся данные с экспериментального стенда. Процессы во второй и третьей комнатах эмулируются программным кодом в показательных целях. Скорости изменения температуры при регулировании в них имеют высокое значение для отработки аварийных режимов и предупреждений.

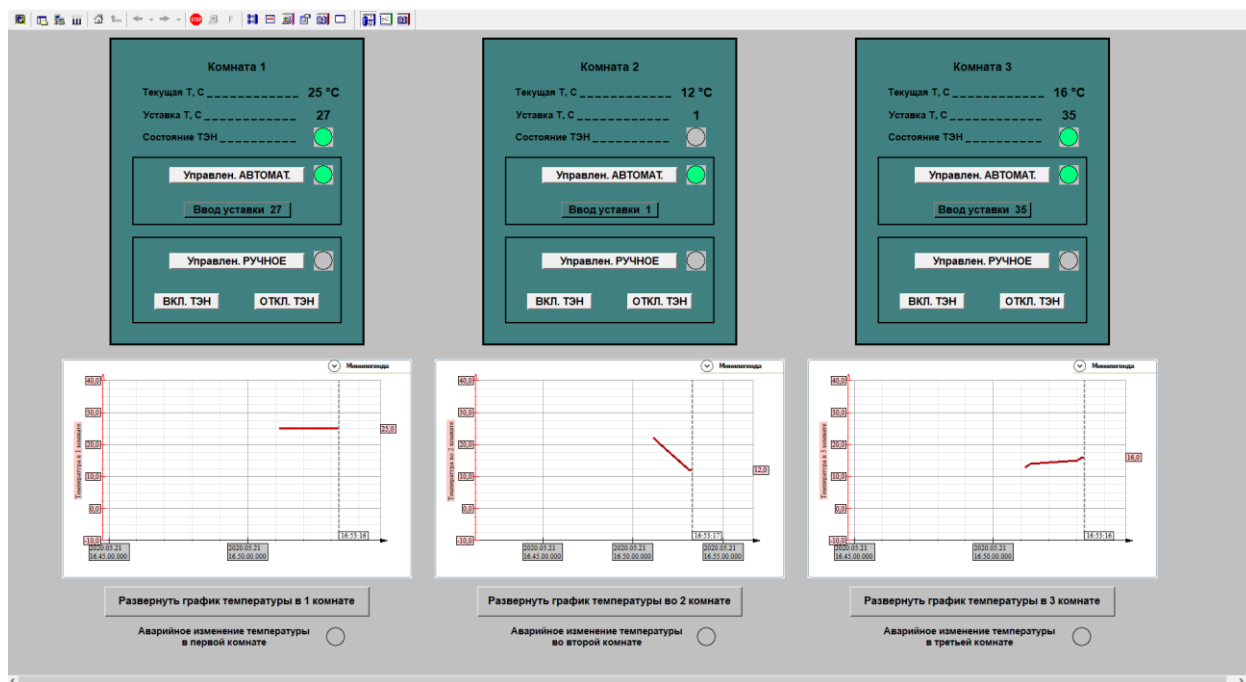


Рисунок 6 – Внешний вид мнемосхемы

Под окнами, ограничивающими средства контроля комнат, располагаются графики текущей температуры комнаты. Ниже них имеются кнопки, позволяющие развернуть график во весь экран.

Функционал программного кода системы предусматривает появление предупредительных окон, при резком падении температуры или её значении, выходящем за пределы допустимых значений, представленных ниже.

При резком снижении температуры, на более чем один градус за 10 секунд, появится предупреждение о резком снижении температуры, как изображено на рисунке 7.

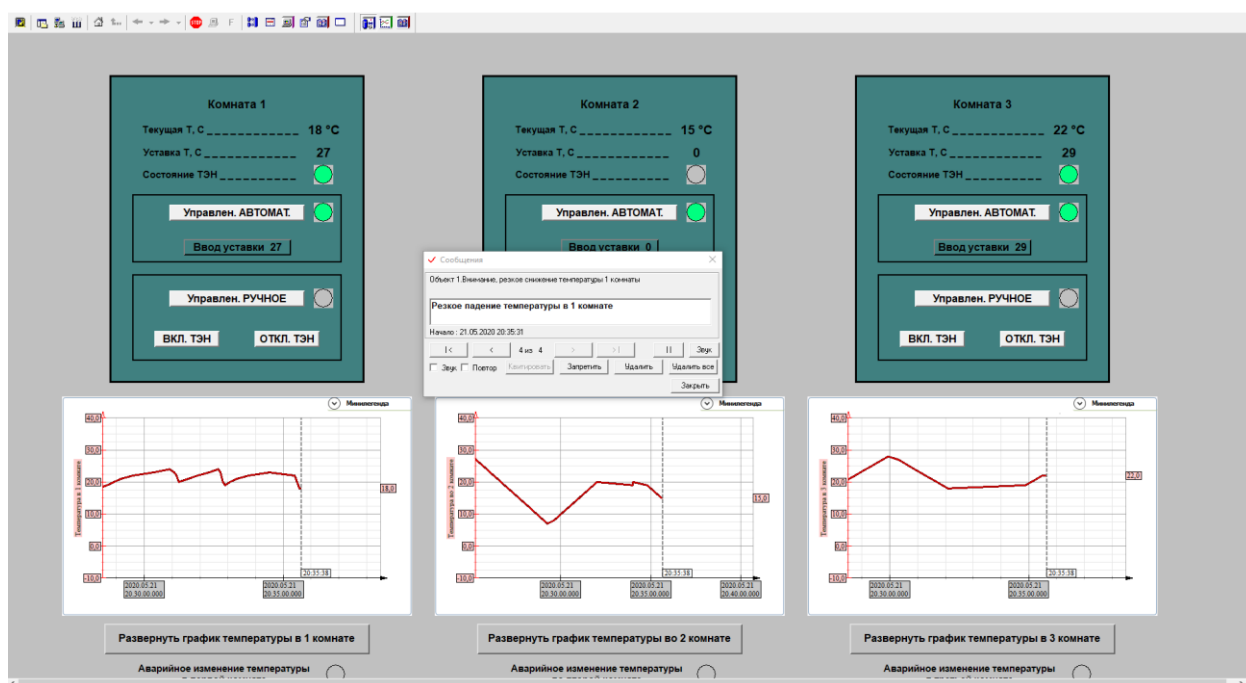


Рисунок 7 – Предупреждение о резком снижении температуры

При превышении температуры более 36 °С появится предупреждение о превышении допустимой температуры и сработает защита, которая заблокирует ручной пуск конвектора комнаты, где зафиксировано превышение, выключит конвектор и будет удерживать его выключенным, пока температура не спадёт до 35,5 °С. После, блокировка ручного включения конвектора отключится, но его последнее состояние сохранится. Он останется выключенным, чтобы не привести снова к аварийному режиму, но им уже можно будет управлять в ручном режиме. Автоматический режим

работает на основании уставок, которые не могут быть выше 35°C, поэтому блокировка автоматического режима не предусматривается.

Работа аварийного режима и предупреждающее о превышении допустимой температуры окно представлены на рисунке 8.

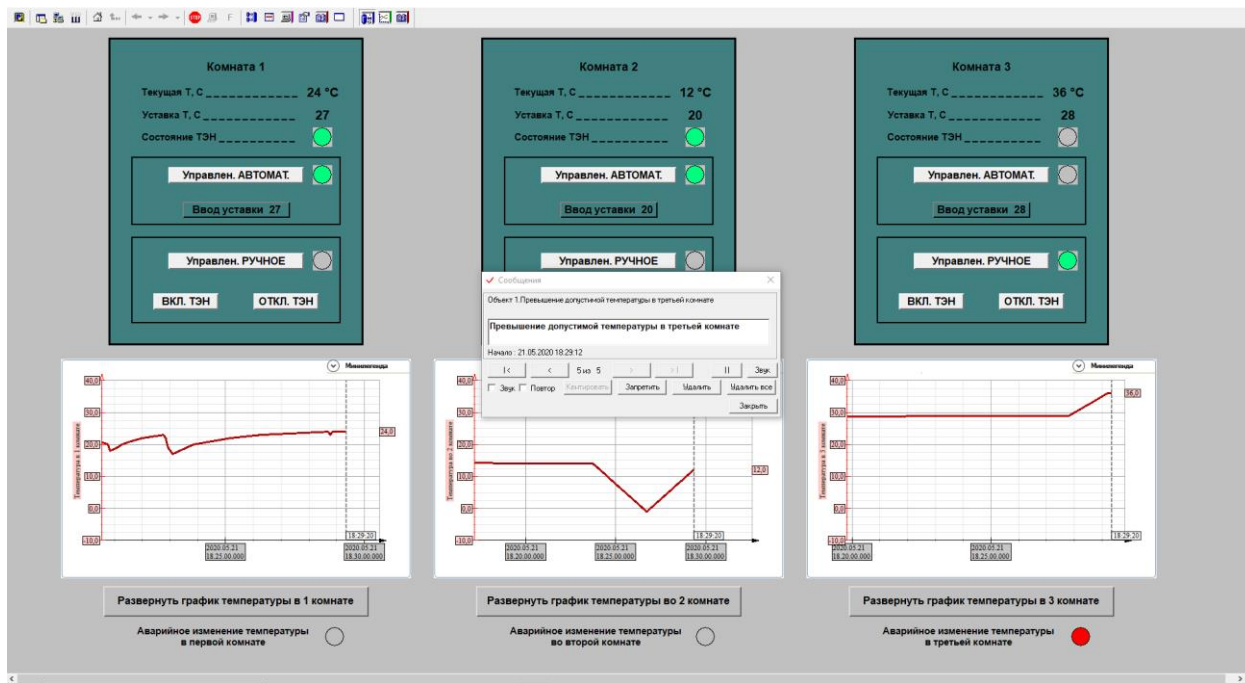


Рисунок 8 – Работа аварийного режима и предупреждающее о превышении допустимой температуры окно

Аналогичная защита сделана для случая, когда температура опустится ниже минус 1 °C в ручном режиме. Тогда ТЭН соответствующей комнаты будет запущен до достижения температуры 0 °C. После, его состояние сохранится, но им можно будет управлять во всех режимах.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6В	Лаврентьев Григорий Викторович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов технического проекта (ТП): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя – 32840 руб. Оклад инженера – 20584 руб. Материальные затраты – 15679,14
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизации 33,3 %; Районный коэффициент 30 %; Накладные расходы 16 %.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 27,1 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности ТП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Потенциальные потребители системы; Анализ конкурентных технических решений; SWOT-анализ;
2. Планирование и формирование бюджета технического проекта	Планирование технического проекта; Разработка графика реализации технического проекта; Формирование бюджета затрат на проект.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта	Анализ полученных результатов

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

График реализации технического проекта (диаграмма Ганта)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.04.2020
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Т.Г.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Лаврентьев Григорий Викторович		

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке АСР отопления в мобильном жилом здании, с использованием микропроцессорного устройства Arduino Nano. В качестве объекта автоматизации принят передвижной вагон-дом «Кедр» К.04.1.1, рассчитанный на проживание восьми человек [2]. Подобные средства временного проживания людей применяются в отдалении от мощных источников тепловой и электрической энергии. Электроснабжение рассматриваемого объекта предполагается осуществлять посредством генераторов, потребляющих жидкое топливо, например дизельное. Подобные источники энергии характеризуются низкой ресурсоэффективностью, поэтому основными поводами внедрения разработки являются снижение затрат электроэнергии, а также улучшение микроклимата проживающих в вагон-доме людей.

Проектируемое решение предлагается, как модернизация уже имеющейся системы обогрева, входящей в состав стандартной комплектации здания. Изначально, производитель предлагает электрическое отопление, основанное на использовании конвекторов с ручным управлением температуры воздуха внутри помещений [2].

Созданная система регулирует подачу питания к конвекторам, основываясь на данных с датчиков температуры, расположенных в различных частях комнат вагон-дома, что способствует более точному определению температуры воздуха внутри него в любое время суток и, как следствие, поддержанию заданной комфортной температуры без участия человека и повышению ресурсоэффективности.

Разработчик любой АСР должен обеспечить не только техническое преимущество своего проекта, но и позаботится о его

конкурентоспособности на рынке. Это определяет потенциал разработки при демонстрации потребителям и делает её выгодной для инвестирования.

Целью данного раздела является рассмотрение экономической и организационных составляющих проекта, а также анализ его конкурентоспособности и ресурсоэффективности.

12.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

12.1.1 Потенциальные потребители системы

В экономике России значимую роль имеет добыча и транспортировка полезных ископаемых, таких как газ и нефть. Основная часть залежей данных ресурсов расположена в северных районах, таких как Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа, имеющих низкую плотностью населения. Наиболее экономичным и надёжным способом доставки добываемого сырья потребителю является трубопроводный транспорт. Он обходится более чем в 10 раз дешевле других способов и им транспортируется почти 99% нефти и 25% нефтепродуктов [32]. Магистральные трубопроводы, протяжённостью в десятки тысяч километров, необходимо обслуживать, производить диагностику и ремонт. Для этих целей существуют специальные организации, работающие преимущественно вахтовым методом и осуществляющие работы в любом месте прохождения трубопровода. Для возможности длительного пребывания непосредственно на месте пролегания трубопровода, создаются временные вахтовые посёлки, обычно находящиеся вдалеке от крупных поселений, при этом не имеющие электрического и теплового снабжения от крупных источников энергии. Для обеспечения жизнедеятельности работников, обслуживающие организации закупают мобильные здания с различным функционалом: жилые вагон-дома, санузлы, мастерские, медпункты и столовые. Разрабатываемая система автоматического регулирования предназначена для эксплуатации в жилых вагон-домах производителя АО «Заводоуковский машиностроительный

завод». Данное предприятие является одним из известных производителей мобильных зданий [2]. Стоит отметить, что жилые вагон-дома различных производителей имеют схожую компоновку и конфигурацию, поэтому разработка системы нацелена на унификацию и возможность внедрения в любое стандартное мобильно здание.

12.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Для определения конкурентоспособности разрабатываемой системы необходимо выявить основные конкурирующие технические решения и провести сравнительный анализ, который покажет эффективность и целесообразность принятого метода, а также укажет его сильные и слабые стороны.

Существует наиболее распространённый и приемлемый способ автоматического регулирования температуры воздуха в зданиях. Он заключается в контроле подачи питания различным нагревателям и механизмам, осуществляющих отопление помещений. На рынке предлагается множество различных решений, основанных на этой концепции, и при проектировании системы необходимо подобрать технические средства автоматизации и разработать программное обеспечение так, чтобы обеспечить конкурентоспособность разработанной системы.

Производитель в стандартной комплектации вагон-дома, на которую ориентируется проект, устанавливает электрические конвекторы в каждой его комнате [2].

Разрабатываемая система должна выполнять перечень следующих основных требований:

- 1) точное и качественное регулирование температуры воздуха помещений вагон-дома;
- 2) низкая стоимость комплектующих;
- 3) надёжность;

- 4) удобство пользования, понятный интерфейс и возможность взаимодействия с электронно-вычислительной машиной (ЭВМ);
- 5) безопасность.

В настоящее время, можно выделить три конкурирующих технических решения для автоматизации работы электрических конвекторов:

- 1) А – АСР с использованием Arduino Nano;
- 2) У – использование «умных» розеток с терморегулятором;
- 3) П – АСР, основанная на промышленном программируемом логическом контроллере (ПЛК).

Проекты бытовой автоматизации с использованием устройств Arduino в последние годы набирают популярность, за счёт низкой стоимости и широкого функционала данного микропроцессорного устройства и девайсов, рассчитанных на совместное применение с ним. Arduino Nano имеет цифровые и аналоговые входы-выходы, что позволяет ему взаимодействовать с различными электронными датчиками, дисплеями, реле и другими приборами [9]. Его можно запрограммировать на реализацию различных законов регулирования, из которых наиболее пригодным для поставленной задачи является ПИ [12].

Так называемые «умные» розетки с терморегуляторами представляют собой единое законченное устройство, в состав которого входят реле или биметаллическая пластина, блок управления и термодатчик. Они непрограммируемые и без возможности расширения функционала. В дешёвых модификациях, предлагаемых на рынке, датчик располагается внутри корпуса, а само устройство не имеет индикации, только поворотный механизм выбора температуры. В более дорогих решениях имеется дисплей и кабель с одним термодатчиком на конце [33].

Компактные модификации промышленных ПЛК применяются и в бытовой автоматизации. Они надёжные, имеют развитую коммуникацию с ЭВМ и реализуют различные законы регулирования. Тем не менее, бюджетные модели ПЛК зачастую не поддерживают подключение

компактной и дешёвой показывающей аппаратуры, такой как символьные дисплеи, снабжены малым количеством входов-выходов, при этом имеют внушительную стоимость за счёт высоких параметров защищённости от негативных производственных факторов [34].

Для сравнения выбранных конкурирующих решений в таблице Д.1 представлена оценочная карта. Критерии оценки и вес каждого из них, основаны на требованиях, предъявляемых к проектируемой автоматической системе регулирования отопления. Вес всех критериев в сумме даёт единицу. Каждое конкурирующее решение оценивается по принятой пятибалльной системе, в которой 1 – худший результат, а 5 – лучший. Конкурентоспособность каждого рассматриваемого решения определяется по формуле [35]:

$$K = \sum (B_i \cdot B_i), \quad (12.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Для примера, приведён расчёт нахождения конкурентоспособности АСР отопления с использованием микропроцессорного устройства Arduino Nano:

$$K_A = \sum (B_i \cdot B_{Ai}) = 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 = 3,85,$$

где K_A – конкурентоспособность АСР отопления с использованием Arduino Nano, для остальных расчётов: K_y – конкурентоспособность «умных» розеток с терморегулятором, K_{Π} – конкурентоспособность АСР с использованием промышленных ПЛК;

B_i – вес i -го критерия;

B_{Ai} – балл i -го показателя для АСР отопления с использованием Arduino Nano, для остальных расчётов: B_{yi} – балл i -го показателя для «умных

розеток» с терморегулятором; B_{pi} – балл i -го показателя для АСР с использованием промышленных ПЛК.

Из таблицы Д.1 видно, что АСР отопления с использованием Arduino Nano имеет наибольший показатель конкурентоспособности, а значит, выбранная концепция проекта является перспективной. Данный результат достигается за счёт высоких баллов по критериям, входящих в требования к создаваемой системе. Arduino Nano, за счёт удобного интерфейса, поддерживает подключение множества датчиков, имеющих хорошие точности измерений. Также, данное устройство программируется на языке программирования высокого уровня C++, что позволяет эмулировать практически любой протокол и интерфейс связи, а также реализовывать различные существующие законы регулирования [12]. От используемых законов регулирования зависит точность поддержания температуры, а значит, повышается экономия электроэнергии, ресурсоэффективность и качество микроклимата в мобильном здании. За счёт управления реле посредством цифровых сигналов, можно установить коммутирующие устройства в отдалённом от человека месте, что уменьшает опасность от поражения его электрическим током.

Система отопления с применением «умных» розеток проигрывает остальным конкурентам, так как не имеет функции программирования и в целом наделена скудным функционалом, что лишает её перспективы дальнейшей модернизации. Из положительных сторон можно выделить простоту и низкую цену. «Умные» розетки с терморегулятором не имеют возможности установки необходимого количества датчиков и способны управлять лишь одной розеткой, что ведёт к неточностям в определении средней температуры в комнатах вагон-дома и необходимости в покупке нескольких устройств для обеспечения регулирования всех конвекторов [33].

Стоимость ПЛК и совместимых с ними устройств значительно выше, чем у других решений. Они занимают большее, относительно других решений, пространство, а самые дешёвые комплектации требуют

дополнительных специальных модулей для обладания схожим с Arduino Nano функционалом. Единственное преимущество ПЛК – это высокая надёжность, особенно у дорогих промышленных моделей [34].

Таким образом, проведённый анализ показал, что выбранная АСР отопления с использованием микропроцессорного устройства Arduino Nano является конкурентоспособным решением, имеющим высокую ресурсоэффективность, за счёт возможности качественного регулирования отопления и, вследствие этого, экономии электроэнергии.

12.1.3 SWOT-анализ

SWOT – комплексный анализ, предполагающий возможность оценки фактического положения и стратегических перспектив проекта и использующий для этого изучение его сильных и слабых сторон. SWOT-анализ затрагивает как внешнюю, так и внутреннюю среды проекта [35, 36].

На основании SWOT-анализа можно судить о перспективах и рисках научно-исследовательской работы, а также о правильности принятых ранее решений.

В таблице Д.2 представлена матрица SWOT для рассматриваемого проекта.

SWOT-анализ показал, что разработанная система зависит от разнообразия и доступности различных электронных товаров для Arduino. Исправление основных слабых сторон проекта заключается в совершенствовании защищённости устройства от внешних воздействий, а также поиске новых технических решений по компоновке датчиков и периферии. Стоит отметить, что в бытовых помещениях нет источников сильных электромагнитных помех, поэтому отсутствие высокой помехозащищённости не является серьёзным негативным фактором для системы. Тем не менее, следует провести дополнительные эксперименты для выявления наименее помехоустойчивых компонентов АСР и их экранирования. Основной потенциал системы кроется в возможности

расширения набора её функций, посредством гибкого языка программирования C++, который не используется в промышленных ПЛК. Также, способность АСР с высокой точностью поддерживать заданную температуру способствует ресурсосбережению.

12.2 Планирование технического проекта

12.2.1 Структура выполнения работ участниками разработки технического проекта

Для успешной разработки АСР необходимо определить состав основных работ, а также провести распределение исполнителей по выделенным этапам [35].

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке [35]:

- 1) определение структуры работ в рамках разработки АСР;
- 2) распределение участников для каждого этапа;
- 3) установление временной продолжительности работ;
- 4) построение графика разработки АСР отопления.

Анализ структуры выполнения работ помогает понять, насколько корректно было распределение обязанностей среди всех участников проекта, а также оценить вклад каждого из них [35].

В таблице Д.3 представлены перечень этапов, содержание работ, а также исполнители каждого этапа. В таблице под инженером понимается студент, выполнявший ВКР.

По таблице Д.3 видно, что большинство работ выполнялось инженером, так как его конечной задачей была защита ВКР. Всего можно выделить 11 работ, из которых 2 были проведены руководителем проекта, а остальные 9 – инженером. Руководителем выполнялись работы, связанные с организацией и контролем выполнения ВКР. Инженер проводил основную часть научно-исследовательских работ.

12.2.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

Основную стоимость разработки, как правило, образуют трудовые затраты, поэтому определение трудоёмкости работ каждого из участников является важной составляющей оценки экономических затрат на проект.

Трудоёмкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости используется формула [35]:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5}, \quad (12.2)$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы, чел-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы, чел-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы, чел-дн.

Минимально и максимально возможные трудоёмкости выполнения работы зависят, в первую очередь, от сложности и объёма поставленной перед исполнителем задачи, а также от его опыта и квалификации.

Пример расчёта ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости для первого вида работ представлен ниже:

$$t_{ож1} = \frac{3 \cdot 2 \text{ чел-дн.} + 2 \cdot 4 \text{ чел-дн.}}{5} = 2,8 \text{ чел-дн.}$$

Продолжительность каждого действия в рабочих днях определяется, основываясь на полученной ожидаемой трудоёмкости работ, учитывая при этом параллельность выполнения задачи несколькими исполнителями. Данное вычисление необходимо для расчёта заработной платы. Формула продолжительности работы в рабочих днях имеет следующий вид [35]:

$$T_{p\ i} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (12.3)$$

где $T_{p\ i}$ – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Из таблицы Д.3 видно, что на всех этапах работы действия выполняются только последовательно, разными исполнителями, следовательно, $Ч_i = 1$ и продолжительность каждой работы будет равна $T_{pi} = t_{ож\ i}$. Полученные продолжительности работы в рабочих днях, для удобства, округляются до целых значений.

12.2.3 Разработка графика реализации технического проекта

Наиболее удобным и наглядным способом представления хода выполнения ВКР является построение ленточного графика проведения работ в форме диаграммы Ганта [35].

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы представляются отрезками, протяжёнными во времени, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ. Кроме того, на диаграмме располагаются виды работ и их исполнители [35].

Для удобства построения графика, необходимо длительность каждого из этапов работ из размерности рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо использовать следующую формулу [35]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (12.4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Рассчитанные значения длительности работ в календарных днях округляются до целых чисел [35].

Коэффициент календарности, предназначенный для перевода рабочего времени в календарное, определяется по следующей формуле [35]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (12.5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Согласно производственному календарю на 2020 год, для шестидневной рабочей недели количество выходных и праздничных дней составляет 66 дней, а общее количество календарных дней равно 366 [37].

Руководитель и инженер работают по шестидневной рабочей неделе.

Ниже приводится расчёт коэффициента календарности на 2020 год:

$$k_{\text{кал}} = \frac{366 \text{ дн.}}{366 \text{ дн.} - 66 \text{ дн.}} = 1,22.$$

Тогда длительности первой работы проекта в календарных днях составляет:

$$T_{ki} = 3 \cdot 1,476 = 4,428 \approx 4.$$

Рассчитанные значения длительности работ в рабочих и календарных днях, а также трудоёмкости работ занесены в таблицу Д.4.

На основании таблицы Д.4 построен календарный план-график, изображённый в приложении Е. Он строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках ВКР. Выделенное на выполнение ВКР время разбивается по месяцам и декадам (10 дней) [35].

На план-графике красным цветом обозначена календарная длительность выполнения работ руководителем, синим – инженером (дипломником). Работы над проектом АСР отопления начались со второй декады февраля и продолжались до третьей декады мая.

По построенной диаграмме Ганта можно провести оценку распределения работ и времени среди исполнителей. Общая продолжительность работ в календарных днях составила 91 дней, из которых 83 дня – длительность работ инженера, 8 дней – продолжительность работ руководителя. Также, можно отметить наиболее длительные по времени работы инженера – создание экспериментально стенда и разработка программного обеспечения. Это связано с низкой квалификацией и малым опытом работ у инженера в данных направлениях, а также с возникающими в ходе выполнения этих задач препятствиями.

12.3 Бюджет технического проекта

При планировании бюджета технического проекта должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [35]. В процессе формирования бюджета технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям [35]:

- 1) материальные затраты на реализацию проекта;
- 2) заработная плата исполнителей проекта;
- 3) отчисления во внебюджетные фонды;
- 4) накладные расходы.

12.3.1 Материальные затраты на реализацию проекта

К материальным затратам данного проекта относятся: покупка канцелярских принадлежностей, приобретение оборудования для внедрения разработанной АСР в объект исследования (мобильный вагон-дом), стоимость оборудования для изготовления экспериментального стенда. В проекте предполагается, что конвекторы, входящие в стандартную комплектацию объекта, уже приобретены производителем передвижного здания, поэтому их цена не учитывается. Также не учитывается цена на монтаж системы в вагон-дом. Общая стоимость канцелярских принадлежностей составила 500 рублей.

В таблице Д.5 представлены затраты на оборудование и материалы для внедрения разработанной АСР в объект.

По таблице Д.5 видно, что затраты на внедрение всего проекта в вагон-дом не превышают десяти тысяч рублей. Это должно быть привлекательно для потребителя, так как штрафы за несоблюдение параметров микроклимата могут быть внушительными.

В таблице Д.6 представлены затраты на оборудование и материалы для изготовления экспериментального стенда.

По таблицам Д.5, Д.6 видно, что все компоненты разработанной системы имеют доступную цену, их можно приобрести в розницу. Наиболее дорогим оборудованием оказались Arduino Nano и выключатель автоматический дифференциального тока. Первый является высокотехнологичным регулирующим устройством системы, поэтому его стоимость будет ощутимой на фоне остальных компонентов. Тем не менее, учитывая вложенный в Arduino функционал, его цена низкая по сравнению с конкурентами. Выключатель автоматический дифференциального тока играет ответственную защитную роль в системе, поэтому его наличие в списке закупаемого оборудования необходимо.

Общие материальные затраты проекта составили 15679,14 рублей.

12.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных работ

В таблице 7 представлено оборудование, имеющееся у учебного заведения и выделенное для расчётов и проектирования АСР, и его стоимость.

Таблица 7 – Оборудование, выделенное учебным заведением для расчётов и проектирования АСР, и его стоимость

№	Наименование	Количество	Цена единицы, тыс. руб.	Общая стоимость, тыс. руб.
1	ПК	1	45,000	45,000
Итого:				45,000

Выделенный ПК использовался для программирования и отладки микропроцессорного устройства Arduino Nano, а также составления технической документации по проекту.

12.3.3 Расчёт амортизационных отчислений

Амортизационные отчисления – отчисления некоторой части стоимости основных фондов с целью возмещения их износа при работе [38].

Далее приведён расчёт амортизации ПК. Первоначальная стоимость 45000 рублей. Согласно общероссийскому классификатору основных фондов, для машин офисных код 330.28.23.23, срок полезного использования составляет от двух до трёх лет, примем три года [39]. Для проведения работ по ВКР, ПК использовался в течение трёх месяцев.

Норма амортизации [38]:

$$A_n = \frac{1}{n} \cdot 100 = \frac{1}{3} \cdot 100 = 33, (3)\%, \quad (12.6)$$

где n – срок полезного использования ПК, лет;

A_n – норма амортизации, %.

Годовые амортизационные отчисления [38]:

$$A_g = CT \cdot A_n = 45000 \cdot 0,33 = 14850 \text{ руб.}, \quad (12.7)$$

где CT – стоимость ПК;

A_g – годовые амортизационные отчисления, руб.

Ежемесячные амортизационные отчисления [38]:

$$A_m = \frac{A_g}{12} = \frac{14850}{12} = 1237,5 \text{ руб./месяц}, \quad (12.8)$$

где A_m – ежемесячные амортизационные отчисления, руб./месяц.

Сумма амортизации основных средств за время использования ПК [38]:

$$A = A_m \cdot N_{\text{исп}} = 1237,5 \cdot 4 = 4950 \text{ руб.}, \quad (12.9)$$

где A – сумма амортизации основных средств за время использования ПК, руб.;

$N_{\text{исп}}$ – продолжительность использования выделенного учебным заведением ПК в рамках ВКР, мес.

Полученное значение суммы амортизации основных средств означает, что для компенсации физического и морального износа ПК, за время его эксплуатации в целях ВКР, необходимо прибавить к общему бюджету проекта 4950 рублей.

12.3.4 Заработная плата исполнителей проекта

В данном пункте произведён расчёт заработной платы исполнителей проекта. Оклад научного руководителя составляет 32840 рублей, оклад инженера равен 20584 рубля.

Величина заработной платы исполнителей проекта определяется из трудоёмкости выполняемых работ, а также действующей системы окладов и тарифных ставок [35].

Заработная плата состоит из основной и дополнительной [35]:

$$З_{\text{полн}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \quad (12.10)$$

где $З_{\text{полн}}$ – общая заработная плата участника проекта, руб.;

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, составляющая 16 % от основной.

Размер основной заработной платы определяется по следующей формуле [35]:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (12.11)$$

где $З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

T_p – продолжительность всех работ, выполняемых исполнителем, раб.дн.

Среднедневная заработная плата участника проекта рассчитывается по следующему выражению [35]:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (12.12)$$

где $З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата участника проекта, руб.;

$З_{\text{м}}$ – месячный оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб. дн.

При отпуске в 48 рабочих дней, $M = 10,4$ месяца при шестидневной трудовой неделе [35].

Месячный должностной оклад работника определяется следующим образом [35]:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (12.13)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок, равный 0,2;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

В таблице 8 приведён баланс рабочего времени для работников образовательных учреждений при шестидневной трудовой неделе.

Таблица 8 – Баланс рабочего времени для шестидневной трудовой недели

Показатели рабочего времени	Раб. дн.
Календарные дни	366
Нерабочие дни (праздники, выходные)	66
Потери рабочего времени (отпуск, невыходы по болезни)	56
Действительный годовой фонд рабочего времени	244

Ниже представлен расчёт заработной платы научного руководителя проекта и инженера.

Месячный должностной оклад руководителя – $Z_{м.р}$:

$$Z_{м.р} = 32840 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 64038 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата руководителя – $Z_{дн.р}$:

$$Z_{дн.р} = \frac{64038 \cdot 10,4}{244} = 2729,5 \text{ руб.}$$

Размер основной заработной платы руководителя – $Z_{\text{осн.р}}$:

$$Z_{\text{осн.р}} = 2729,5 \cdot 6 = 16377 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата руководителя – $Z_{\text{доп.р}}$:

$$Z_{\text{доп.р}} = Z_{\text{осн.р}} \cdot 0,16 = 16377 \cdot 0,16 = 2620,32 \text{ руб.}$$

Общая заработная плата руководителя – $Z_{\text{полн.р}}$:

$$Z_{\text{полн.р}} = Z_{\text{осн.р}} + Z_{\text{доп.р}} = 16377 + 2620,32 = 18997,32 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад инженера – $Z_{\text{м.и}}$:

$$Z_{\text{м.и}} = 20584 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 40138,8 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата инженера – $Z_{\text{дн.и}}$:

$$Z_{\text{дн.и}} = \frac{40138,8 \cdot 10,4}{244} = 1710,83 \text{ руб.}$$

Размер основной заработной платы инженера – $Z_{\text{осн.и}}$:

$$Z_{\text{осн.и}} = 1710,83 \cdot 68 = 116336,44 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата инженера – $Z_{\text{доп.и}}$:

$$Z_{\text{доп.и}} = Z_{\text{осн.и}} \cdot 0,16 = 116336,44 \cdot 0,16 = 18613,83 \text{ руб.}$$

Общая заработная плата инженера – $Z_{\text{полн.и}}$:

$$Z_{\text{полн.и}} = Z_{\text{осн.и}} + Z_{\text{доп.и}} = 116336,44 + 18613,83 = 134950,27 \text{ руб.}$$

Как видно из расчётов, полная заработная плата инженера получилась больше, чем у руководителя, так как основной объём работ выполнялся дипломником.

12.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитываются по формуле [35]:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (12.14)$$

где $Z_{\text{внеб}}$ – отчисления во внебюджетные фонды, руб.;

$k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Для учреждений, ведущих образовательную или научную деятельность коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды равен 27,1 % [35].

В таблице 9 представлены отчисления во внебюджетные фонды для всех участников проекта.

Таблица 9 – Отчисления во внебюджетные фонды для всех участников проекта

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Инженер	116336,44	18613,83
Руководитель	16377	2620,32
Коэффициент отчислений	0,271	
Итого	$Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (116336,44 \text{ руб.} + 18613,83 \text{ руб.} + 16377 \text{ руб.} + 2620,32 \text{ руб.}) = 41719,8 \text{ руб.}$	

По итогам расчётов, отчисления во внебюджетные фонды проекта равны 41719,8 рублей. Эта сумма предусмотрена законодательством Российской Федерации для государственного социального и медицинского страхования, а также пенсионного фонда.

12.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают те затраты проекта, которые не вошли в ранее проведённые расчёты. Для данного проекта величина накладных расходов равна [35]:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{мат}} + A + Z_{\text{полн.р}} + Z_{\text{полн.и}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot k_{\text{нр}} = (15679,14 + 4950 + 18997,32 + 134950,27 + 41719,8) \cdot 0,16 = 34607,44 \text{ руб.}, \quad (12.15)$$

где $Z_{\text{накл}}$ – накладные расходы проекта, руб.;

$Z_{\text{мат}}$ – общие материальные расходы при разработке и внедрении АСР, руб.;

$k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, равный 16 %.

12.3.7 Формирование бюджета затрат проекта

Найденная величина затрат при проектировании и внедрении АСР отопления в мобильном вагон-доме является основой для формирования необходимого минимального бюджета проекта. Бюджет затрат проекта необходим при формировании договора с заказчиком и защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

В таблице Д.7 представлен расчёт бюджета затрат проекта.

По таблице Д.8 видно, что наибольшими затратами проекта является заработная плата инженера. Заработная плата руководителя не составляет большой доли бюджета, так как невелико количество его рабочих дней. Материальные затраты, состоящие из стоимости оборудования и материалов стенда и внедряемой в объект системы, не занимают большой доли в общих затратах проекта. Это говорит о правильности выбора типа системы и подбора оборудования.

12.4 Выводы по разделу

Разработанная АСР отопления нацелена на конкретного потребителя – производители мобильных жилых зданий, которые представляют свою продукцию ведомствам, службам и организациям, принадлежащим крупным компаниям, занимающимися добычей и транспортировкой нефти и газа. Можно ожидать, что спрос на мобильные вагон-дома, предназначенные для использования в отдалённых вахтовых посёлках, будет стабильным, так как добыча нефти и газа в России является прибыльной деятельностью.

Анализ показал, что на рынке существуют несколько технических решений, составляющих конкуренцию спроектированной системе, однако она превосходит их по ряду ключевых характеристик и качеств. К их числу можно отнести: возможность с высокой точностью поддерживать заданную температуру, широкий функционал, дешевизна оборудования при его многофункциональности и удобстве подключения, потенциал к

совершенствованию. Всё это отвечает требованиям к ресурсоэффективности и ресурсосбережению проекта.

SWOT-матрица проекта выявила его сильные и слабые стороны, показала потенциальные возможности реализации первых и устранения вторых. Слабые стороны системы можно уменьшить совершенствованием её эргономики, сменой материалов ограждающих конструкций и поиском более многофункциональных элементов. Сильные стороны хорошо себя проявляют при необходимости точного поддержания параметров микроклимата, прописанных в нормативных документах. Разработанную АСР можно с лёгкостью применять и в других малых зданиях, расположенных в отдалении от мощных источников энергии и имеющих электрическое отопление.

При планировании технического объекта основную долю работ выполнял инженер (дипломник). Это логично, так как ВКР предназначена для оценки знаний и квалификации студента. В распоряжении исполнителей проекта было 100 дней, из которых распланированными оказались 91 день. Оставшиеся девять дней предусматривались на непредвиденные обстоятельства, такие как уход на больничный. Продолжительность работ инженера составила 83 календарных дня, руководителя – 8 дней. Наиболее длительными работами в проекте были сборка стенда и разработка программного кода. Причина этому – малый опыт и низкая квалификация инженера.

Расчёт бюджета проекта определил минимальную сумму, необходимую на его реализацию. Она составила 250903,97 рубля. Большая её часть приходится на заработную плату инженера, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы. Затраты на материалы и оборудование, для экспериментального изучения системы и её внедрения в реальный объект, составляют лишь 6,25 % от общего бюджета проекта.

Таким образом, данный раздел дал понимание потенциала и возможностей разработанной системы, указал на её недостатки и пути их решения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6В	Лаврентьев Григорий Викторович

Школа		Отделение (НОЦ)	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

Система автоматического регулирования отопления мобильного жилого помещения, расположенного в районе, с суровыми климатическими условиями

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Тема работы: «Система автоматического регулирования отопления мобильного жилого помещения, расположенного в районе, с суровыми климатическими условиями». Объектом исследования является передвижной вагон-дом «Кедр» К.04.1.1, рассчитанный на проживание в нём до восьми человек. Данное мобильное здание применяется в качестве жилья в вахтовых посёлках или иных временных поселениях.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: — специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; — организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	1.1 ТК РФ Глава 47 «Особенности регулирования труда лиц, работающих вахтовым методом»; 1.2 ГОСТ 22614-77 «Система "человек-машина". Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования»; 1.3 ГОСТ 22615-77 «Система "человек-машина". Выключатели и переключатели типа "Тумблер"; 1.4 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» 1.5 ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание 7.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	2.1 Повышенное значение напряжения в электрической цепи; 2.2 Превышение допустимых уровней электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ 2.3 Отклонение показателей микроклимата 2.4 Недостаточная освещённость
3. Экологическая безопасность:	3.1 Отходы при монтаже и утилизации внедрённой системы; 3.2 Выбросы вредных веществ с отработавшими газами от автономного генератора электроэнергии.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	4.1 Пожар вследствие неисправности электрооборудования, проводки или нарушения правил эксплуатации внедрённой системы отопления

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.04.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова О.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Лаврентьев Григорий Викторович		

Проект выпускной квалификационной работы предполагает разработку автоматической системы регулирования отопления мобильного жилого помещения, расположенного в районе с суровыми климатическими условиями. В перечень основных работ входят разработка проектной документации и программной составляющей для создаваемой системы, а также сборка экспериментального стенда, демонстрирующего концепцию нового способа регулирования отопления мобильного здания.

Рассматриваемым объектом в работе является передвижной вагон-дом «Кедр» К.04.1.1 [2], рассчитанный на проживание в нём восьми человек. Он используется в качестве жилья для персонала, при проведении работ в местах, отдалённых от крупных населённых пунктов. В России, добываемые газ и нефть чаще всего транспортируются по магистральным трубопроводам [32]. Данные сооружения проходят через труднодоступную местность, зачастую в северных районах страны. Магистральные трубопроводы и причастные к ним сооружения необходимо обслуживать. Выполнением данной задачи занимаются соответствующие организации по их ремонту и диагностике. С этой целью строятся локальные трассовые посёлки, в которых и используются передвижные вагон-дома.

Так как возводимые временные поселения отдалены от мощных источников электроэнергии и тепла, используются автономные генераторы электрической энергии, обычно работающие на жидком топливе. С этим фактом возникает необходимость в экономии электроэнергии. Также, из-за суровых климатических условий становится актуальным вопрос о повышении качества микроклимата внутри вагон-домов, где живут работники. Внедряемая система выполняет в автоматическом режиме поддержание заданной температуры внутри вагон-домов, что повышает качество микроклимата, сохраняет здоровье проживающих в них людей, а также позволяет экономить электроэнергию.

13.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рассмотрим основные пункты трудового законодательства, связанные с зоной, в которую планируется внедрить разработанную систему автоматизации. Данная зона представляет собой комнаты жилого вагон-дома, где работники, в период вахты, будут проводить свободное время, поэтому в первую очередь внимание будет уделено нормативным документам, регламентирующим работу и отдых данного персонала. Глава 47 содержит ряд статей, содержащих необходимую информацию по этому вопросу [40]. Ознакомимся с некоторыми из них.

Статья 297 Трудового Кодекса Российской Федерации (ТК РФ) говорит о том, что в период вахтовых работ персонал должен проживать в специально созданных вахтовых посёлках, в которых размещаются здания и сооружения для обеспечения их жизнедеятельности [40].

Статья 299 ТК РФ указывает: «Вахтой считается общий период, включающий время выполнения работ на объекте и время междусменного отдыха» [40]. Таким образом, пребывание персонала в вагон-доме включается в период вахты. Стоит отметить, что в статье 299 говорится о максимальной продолжительности вахты, составляющей один месяц, если рассматриваемый случай не является исключительным [40].

Целью введения автоматической системы регулирования отоплением является поддержание температуры в пределах значений, установленных соответствующими нормативными документами. Согласно ГОСТ 25957-83, объект автоматизации относится к жилым мобильным сооружениям [5]. В ГОСТ 30494-2011 приведены нормы температуры. Для рассматриваемого вагон-дома в холодный период года оптимальная температура принимается от 20 до 22 °С, в тёплый период года – от 22 до 25 °С [6].

Ниже тезисно приведены основные эргономические требования к элементам рабочей зоны.

Основными средствами для управления автоматической системы являются кнопочные переключатели. ГОСТ 22614-77 [41] регламентирует

форму и размеры данных приводных элементов. Для разработанной системы, согласно данному нормативу, приводной элемент должен быть рассчитан под указательный палец и частоту нажатий не более десяти раз в минуту. Диаметр приводного элемента не должен быть меньше 10 мм, рабочий ход должен составлять от 2 до 3 мм [41].

Переключение режимов работы автоматической системы осуществляется с помощью тумблера. ГОСТ 22615-77 регламентирует форму и размеры такого типа переключателей. Длина используемого в проекте приводного элемента должна быть равна 10 мм, а усилие необходимое для перемещения – 2 Н [42].

Расположение дисплея, используемого в разработанной системе, а также параметры выводимых на нём символов определяются по ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009 [43].

В проекте, при наличии персональной электронно-вычислительной машины (ПЭВМ) у жильцов мобильного здания, предусмотрена SCADA-система, позволяющая управлять процессом регулирования. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 определяет санитарно-эпидемиологические требования к эксплуатации ПЭВМ [44].

13.2 Производственная безопасность

Для выявления потенциально вредных и опасных факторов, обратимся к ГОСТ 12.0.003-2015 [45]. При этом принимается, что жилой вагон-дом будет находиться непосредственно на территории проведения производственных работ, как происходит в вахтовых посёлках.

В таблице 10 приведены возможные опасные и вредные факторы при эксплуатации автоматической системы регулирования отопления.

Таблица 10 – Возможные опасные и вредные факторы [45]

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 [46] ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание 7 [47].
2. Превышение допустимых уровней электромагнитных полей (ЭМП), создаваемых ПЭВМ	+		+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [48]
3. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 30494-2011 [6]
4. Недостаточная освещённость	+	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [49]

Для выявления мероприятий по борьбе с вредными факторами необходимо провести их анализ.

13.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Разберём приведённые в таблице 8 факторы подробнее и выявим пути для снижения их воздействия на людей, проживающих в рассматриваемом вагон-доме.

Источником повышенного значения напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, является наличие электрической проводки в исследуемом объекте с фазным напряжением, равным 220 В.

Электрический ток оказывает на человека термическое, механическое, электролитическое и биологическое воздействие. Поражение электрическим током может вызвать ожоги, судорожное сокращение мышц, травмы, изменение физико-химического состава жидкостей организма, а также нарушения биологических процессов.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82, при аварийном режиме работы бытовых электроустановок, предельные значения напряжений и токов, при прикосновении длительностью до 0,08 с, не должны превышать значений, 220 В и 220 мА соответственно [46].

«Правила устройства электроустановок» приводит следующий перечень мер защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям электроустановки [47]:

- 1) комплектация основной изоляции токоведущих частей;
- 2) выставления ограждений;
- 3) установка защитных барьеров;
- 4) размещение токоведущих частей вне зоны досягаемости;
- 5) применение сверхнизкого напряжения.

Для защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении существуют следующие меры [47]:

- 1) защитное заземление;
- 2) автоматическое отключение питания;
- 3) уравнивание потенциалов;
- 4) двойная или усиленная изоляция и др.

Источниками ЭМП в ПЭВМ являются работающие на высокой частоте элементы. Основными из них являются монитор, импульсный блок питания, процессор, устройства ввода-вывода и другие.

ЭМП – это особая форма материи, возникающая вследствие взаимодействия движущихся зарядов.

При длительном воздействии ЭМП с параметрами, превышающими допустимые значения, у человека могут возникнуть нарушения функций нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем [48].

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 регламентирует требования к ПЭВМ, а также устанавливает предельные значения вредных факторов, сопутствующих при работе оператора. В частности, в документе представлены временные допустимые уровни ЭМП при работе с ПЭВМ [48].

Для минимизации воздействия вредных факторов при работе с ПЭВМ необходимо, чтобы место работы оператора было правильно организовано и соблюдало требования к эргономике. Работа ПЭВМ не должна создавать уровень шума, выше нормируемого. Также следует соблюдать установленные для данного помещения параметры микроклимата. Важным является проверка уровня ЭМП и сопоставление полученных значений с предельными, обозначенными в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [48].

Мобильные вагон-дома предназначены для использования в различных климатических условиях и типах местности. Производитель исследуемого объекта утверждает, что мобильное здание может эксплуатироваться круглосуточно в климатических условиях при температурах окружающего воздуха от минус 60 до плюс 40 °С [2]. В таблице 11, согласно ГОСТ 30494-2011 [6], приведены оптимальные параметры микроклимата в жилых зданиях.

Таблица 11 – Оптимальные параметры микроклимата в жилых зданиях [6]

Период года	Помещение	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Жилая комната	20-22	45-30	не более 0,15
Тёплый		22-25	60-30	не более 0,2

Основной причиной отклонения параметров микроклимата может стать некачественное и тонкое утепление здания, несоответствующее климатическим условиям конструкция окон или нехватка отопления.

Если микроклиматические условия комнат здания не будут входить в допустимые значения, проживающие в вагон-доме люди могут замёрзнуть или перегреться, что негативно скажется на их здоровье, сне и работоспособности.

Для обеспечения необходимых значений микроклиматических параметров, объемный каркас вагон-дома заполнен пенополистирольным утеплителем толщиной от 100 до 120 мм. Окна выполнены из профиля поливинилхлорида с двухкамерным стеклопакетом и жалюзи. В каждой комнате вагон-дома расположены электрические конвекторы, мощностью по 1,5 кВт каждый [2].

Недостаточная освещённость рабочих мест и помещений может возникнуть из-за нехватки количества светильников или величины освещённости.

Нехватка освещённости может привести к ухудшению зрения жильцов вагон-дома, а также быстрой утомляемости при работе за ПЭВМ.

СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 регламентирует нормы освещённости для искусственного освещения, а также коэффициента естественной освещённости (КЕО) [49].

Для обеспечения надлежащего освещения поверхностей и рабочего места оператора автоматической системы в вагон-доме, предусматриваются люминесцентные лампы, а также окна в каждой из комнат [2].

13.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на жильца вагон-дома

Приказу № 328н, выделяет следующие организационные мероприятия для обеспечения безопасности работ являются [50]:

- 1) оформление наряда на работу, выполняемую в электроустановке;

- 2) выдача разрешения на подготовку рабочего места и допуск к работе;
- 3) допуск к работе и др.

При подготовке рабочего места со снятием напряжения с токоведущих частей электроустановки, необходимо провести следующие мероприятия [50]:

- 1) произведён перевод коммутационных аппаратов в разомкнутое состояние и приняты меры, не допускающие случайного их включения;
- 2) вывешены запрещающие плакаты на средствах управления;
- 3) проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях;
- 4) установлено заземление;
- 5) вывешены плакаты «Заземлено».

Для обеспечения безопасности при работе с электрооборудованием в спроектированной системе автоматического регулирования температуры предусмотрено защитное заземление, наличие АВ и УЗО. Защитное заземление предотвращает поражение электрическим током, в случае прикосновения человека к нетокведущим частям в аварийном режиме электроустановки. Автоматические выключатели защищают сеть от сверхтоков и коротких замыканий. УЗО обеспечивает защиту электрических цепей от токов утечки, что предотвращает возможность пожаров и поражений человека электрическим током.

В разрабатываемой системе предполагается реализация автоматизации верхнего уровня только при наличии ПК у жильцов вагон-дома. Продаваемые в розницу ПК проверяются на отсутствие превышения ЭМП установленным в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [48].

Для обеспечения приемлемых показателей микроклимата в рассматриваемый объект встраивается разработанная система автоматического регулирования отопления, которая позволит удерживать температуру в оптимальном диапазоне. В систему встроена сигнализация о резком падении температуры, специальные режимы работы при

температурах превышающих и меньших допустимых значений, указанных в ГОСТ 30494-2011 [6].

Для обеспечения или поддержания необходимой освещённости комнат здания будут произведены проверки на параметры, указанные в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, по результатам которых примутся решения об увеличении количества ламп или мощности каждой из них [49].

13.3 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность подразумевает допустимый уровень вредных природных и антропогенных факторов, способных навредить экологии и окружающей среде. В настоящее время, экологической безопасности производства и бытового жизнедеятельности уделяется большое внимание.

В процессе разработки экспериментального стенда, сборки системы на объекте и её эксплуатации применяются материалы из резины, поливинилхлорида и пластмасс. Для обеспечения защиты гидросферы и литосферы от данных загрязняющих веществ следует следовать указаниям, указанным в ГОСТ Р 54533-2011 (ИСО 15270:2008) [51].

В процессе работы спроектированной системы автоматического отопления предполагается использование автономного источника электрической энергии – дизельного генератора. Выбросы вредных веществ данного устройства в атмосферу должны регламентироваться ГОСТ 31967-2012 [52].

Рассматриваемый в проекте вагон-дом не оборудован туалетом. Производителем предполагается, что для данных целей будет иметься отдельный вагон-санузел. В мобильном здании, принятом в проекте, предусмотрена раковина с выбросом стоков наружу вагон-дома в предусмотренную ёмкость с последующей утилизацией согласно требованиям эпидемиологического надзора.

13.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Безопасность в чрезвычайных ситуациях (ЧС) – состояние населения, объектов инфраструктуры и окружающей среды, при котором они защищены от опасностей ЧС [53]. От того, насколько будут проработаны действия при ЧС, зависят здоровье и жизнь людей, а также размеры материальных и экономических потерь.

В процессе эксплуатации спроектированной системы, может возникнуть пожар, причиной которого может быть неисправность электрооборудования или проводки, несмотря на принятые меры защиты от данной ситуации.

Пожар – неконтролируемый процесс горения, представляющий опасность жизни и здоровью людей и животных, а также причиняющий материальный ущерб.

Для предупреждения возникновения пожара, как уже указывалось выше, в разработанную систему внедрены УЗО и автоматические выключатели. В вагон-доме предусмотрены порошковые огнетушители ОП-4, предназначенные для тушения твёрдых горючих веществ, жидкостей, газов, а также электрооборудования, напряжением до 1000 В. Огнетушители располагаются возле силовых щитов управления и щитов автоматики. Кроме того, вагон-дом снабжён пожарными извещателями, реагирующими на задымлённость в помещениях.

На рисунке 9 разработан план эвакуации из мобильного помещения при возникновении пожара.

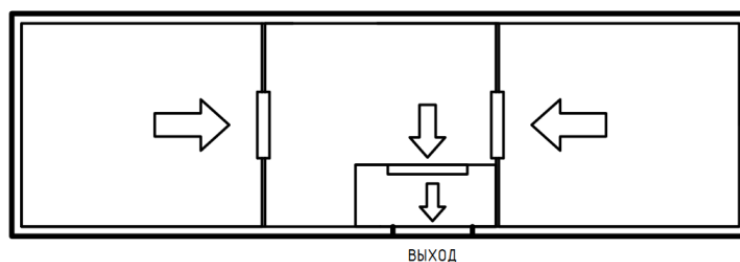


Рисунок 9 – план эвакуации из мобильного помещения при возникновении пожара

При пожаре, в случае срабатывания сигнализации или его обнаружения человеком, необходимо оповестить всех жильцов вагон-дома об опасности и быстро провести оценку ситуации. В случае небольшого возгорания электрооборудования необходимо выключить питание сети и приступить к тушению очага возгорания посредством имеющихся огнетушителей. В случае обнаружения большого очага возгорания и распространения пожара, необходимо немедленно покинуть вагон-дом по указанному на рисунке 9 плану эвакуации.

13.5 Вывод по разделу

Практическая значимость данного раздела существенна для проектирования системы автоматического регулирования температуры жилого мобильного вагон-дома, так как с её помощью устанавливаются и внедряются меры по повышению безопасности людей, животных, окружающей среды и имущества, так или иначе испытывающих влияние внедряемого решения и объекта в целом. Внедрённые в объект решения, касающиеся производственной, экологической безопасностей и безопасности в ЧС, делают разрабатываемую систему более пригодной для практического применения и повышают её конкурентоспособность.

Заключение

В рамках данной выпускной квалификационной работы разработана АСР отопления мобильного жилого помещения, в качестве которого принят передвижной вагон-дом «Кедр» К.04.1.1 [2]. Важной составляющей работы является применение платформы Arduino Nano, в качестве регулирующего устройства.

Проведён анализ объекта автоматизации, в котором приведены его основные характеристики, разобраны принятые производителем технические решения.

Разработан комплекс проектной конструкторской документации, на основании которого можно ознакомиться с принципом действия АСР, произвести её монтаж, наладку и поддерживать дальнейшую работу.

Проработана возможность использования ПИ-закона регулирования в системе. На основании принятой переходной процесса объекта, рассчитаны соответствующие параметры регулятора. В приложении Г построены временные характеристики системы и произведена оценка качества её работы.

Для определения возможности практической реализации принятой концепции системы, а также с целью оценки надёжности и совместимости её компонентов, создан экспериментальный стенд.

Разработан программный код, реализующий функции регулирования, контроля, визуализации, а также обеспечивающий работу SCADA-системы и предусматривающий аварийные ситуации, касающиеся отопления вагон-дома. Для реализации верхнего уровня автоматизации выполнена мнемосхема.

Проведена оценка конкурентоспособности и ресурсоэффективности проекта. Затронуты правовые и экологические аспекты. Предусмотрены меры по повышению пожарной безопасности и соблюдению требований электрической безопасности системы.

Список использованных источников

1. Мельникова М.А. История нефтегазовой отрасли: Учебное пособие. – Благовещенск: Амурский государственный университет, 2016. – 128 с.
2. Кедр. Вагон-дома. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kedrvagon.ru/about/> свободный. – Загл. с экрана.
3. Лефанова И.В., Ткаченко С.В. Автоматическое регулирование систем отопления как компонент «умного дома»: материалы 19-й международной конференции научной конференции в г. Минск. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – с. 327-331.
4. AlexGyver Technologies. Контроллер теплицы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://alexgyver.ru/gyvercontrol/> свободный. – Загл. с экрана.
5. ГОСТ 25957-83. Здания и сооружения мобильные (инвентарные). Классификация. Термины и определения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901708131> свободный. – Загл. с экрана.
6. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-30494-2011> свободный. – Загл. с экрана.
7. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие / А.С. Ключев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Ключев; Под ред. А.С. Ключева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
8. DS18B20. Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
9. Arduino Nano. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano> свободный. – Загл. с экрана.

10. OWEN ПР100. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owen.ru/uploads/214/re_pr100_1-ru-49752-1.48.pdf свободный. – Загл. с экрана.
11. Siemens LOGO!. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://support.industry.siemens.com/dl/files/989/36051989/att_99786/v1/logo_system_manual_ru-RU_ru-RU.pdf свободный. – Загл. с экрана.
12. GitHub. AlexGyver. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/AlexGyver/GyverLibs> свободный. – Загл. с экрана.
13. Analog Devices. AD22100. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/076/DOC000076336.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
14. LM75A. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/301/DOC000301694.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
15. Guidelines for reliable long line 1-Wire networks. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN148.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
16. СМИ2. Панель оператора. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owen.ru/uploads/162/re_smi2_1-ru-49959-1.2.pdf свободный. – Загл. с экрана.
17. Жидкокристаллический индикатор ВСВ1602-03. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/146/DOC004146455.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
18. Жидкокристаллический индикатор МТ-20S4А-I. Технические характеристики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.melt.com.ru/docs/MT-20S4A-I.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
19. Твердотельные реле FOTEK. Руководство пользователя. [Электронный каталог]. – Режим доступа: http://www.deltronics.ru/images/manual/FOTEK/SSR_manual%28rus%29.pdf свободный. – Загл. с экрана.

20. Ерёменко В.Т., Рабочий А.А., Фисун А.П. Основы электротехники и электроники: учебник для высшего профессионального образования. – Орёл: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012. – 529 с.

21. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200035252> свободный. – Загл. с экрана.

22. Контактторы ПМУ и реверсивные контакторы ПМУР на токи от 9 до 95 А. Руководство по выбору. [Электронный каталог]. – Режим доступа: https://www.novec.ru/catalog/novosibirsk/catalog/schneider_electric/tele_pmu.pdf свободный. – Загл. с экрана.

23. Кабель.РФ. Кабель МКЭШнг(А)-LS. [Электронный каталог]. – Режим доступа: https://cable.ru/cable/group-mkeshng_a_ls_description.php свободный. – Загл. с экрана.

24. Кабель.РФ. Кабель КГВВнг(А)-LS. [Электронный каталог]. – Режим доступа: https://cable.ru/cable/group-kgvvng_a_ls_description.php свободный. – Загл. с экрана.

25. Henryk Gorecki. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. Пер. с польского. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1974. – 328 с.

26. Андык В.С. Теория автоматического управления: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 109 с.

27. Arduino IDE. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> свободный. – Загл. с экрана.

28. Visual Studio Code. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://code.visualstudio.com/> свободный. – Загл. с экрана.

29. Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы: Учебное пособие / И.А. Елизаров, А.А. Третьяков, А.Н. Пчелинцев и др. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 160 с.

30. ИнСАТ. Modbus Universal MasterOPC Server 32. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://insat.ru/prices/info.php?pid=6944> свободный. – Загл. с экрана.

31. Демонстрационные версии продуктов компании ИнСАТ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://insat.ru/services/support/demos/> свободный. – Загл. с экрана.

32. Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ: Учебное пособие / В.Г. Крец., А.В. Шадрина, Н.А. Антропова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 386 с.

33. Терморегулятор terneo rz. Технический паспорт. Инструкция по установке и эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.terneo.ru/files/terneo_rz_ru_v317_1907114.pdf свободный. – Загл. с экрана.

34. ПЛК63. Контроллер программируемый логический. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owen.ru/uploads/215/re_plk63_m01_2969.pdf свободный. – Загл. с экрана.

35. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шапавалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

36. Арутюнова Д.В. Стратегический менеджмент: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 122 с.

37. Производственный календарь на 2020 год для шестидневной рабочей недели. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_324428/650af7a4c460fc68ae5374b4a8ef2c9a3ed150ad/ свободный. – Загл. с экрана.

38. Экономика предприятия: учебное пособие / И.П. Воробьёва, О.С. Селевич; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 179 с.

39. ОКОФ: код 330.28.23.23. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://okof2.ru/330.28.23.23> свободный. – Загл. с экрана.

40. Трудовой кодекс Российской Федерации (с изменениями на 24 апреля 2020 года). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901807664> свободный. – Загл. с экрана.

41. ГОСТ 22614-77. Система "человек-машина". Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-22614-77> свободный. – Загл. с экрана.

42. ГОСТ 22615-77. Система "человек-машина". Выключатели и переключатели типа "Тумблер". Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-22615-77> свободный. – Загл. с экрана.

43. ГОСТ 22615-77. ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009 Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплеи. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs2.cntd.ru/document/1200076092> свободный. – Загл. с экрана.

44. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901865498> свободный. – Загл. с экрана.

45. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200136071> свободный. – Загл. с экрана.

46. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений

прикосновения и токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/5200313> свободный. – Загл. с экрана.

47. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003114> свободный. – Загл. с экрана.

48. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901865498> свободный. – Загл. с экрана.

49. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901859404> свободный. – Загл. с экрана.

50. Приказ № 328н от 24 июля 2013 года «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499037306> свободный. – Загл. с экрана.

51. ГОСТ Р 54533-2011 (ИСО 15270:2008) Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководящие принципы и методы утилизации полимерных отходов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200097330> свободный. – Загл. с экрана.

52. ГОСТ 31967-2012 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200104634> свободный. – Загл. с экрана.

53. ГОСТ Р 22.0.01-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200136692> свободный. – Загл. с экрана.

Приложение А

(обязательное)

Характеристики сравниваемых регулирующих устройств

Таблица А.1 – Характеристики сравниваемых регулирующих устройств

Наименование характеристик	Arduino Nano	ПП100-24	SIEMENS LOGO!
Напряжение питания	5 В или 7...12 В	24 В	10,8 В...28,8 В
Память ПЗУ	32 Кбайт	128 Кб	–
Память ОЗУ	2 Кбайт	16 Кб	–
ПИД-регулирование	Да	Да	Да
Дискретные/цифровые входы и выходы	22	20	12
Аналоговые входы	8	4	4
Диапазон температур работы устройства	От минус 40 до плюс 85 °С для АТmega328р	От минус 40 до плюс 55 °С	От минус 20 до плюс 55 °С
Интерфейсы	USB, I2C, SPI, 1-Wire; эмуляция протоколов и интерфейсов RS-232, RS-485 и Ethernet	USB, RS-485	Ethernet

Приложение Б

(обязательное)

Расчёт переходных процессов системы с применением рассчитанного ПИ-регулятора и оценка качества регулирования

Б1. Расчёт и построение переходного процесса в замкнутой АСР при возмущении f , идущем по каналу регулирующего воздействия

Переходной процесс или переходная характеристика – реакция системы, находящейся в установившемся состоянии или при нулевых начальных условиях, на единичное воздействие ступенчатой функции. Переходной процесс относится к временным характеристикам системы и предназначен для визуализации и оценки качества процесса регулирования.

Передаточная функция по каналу регулирующего воздействия $W_{s-y}(P)$ имеет вид:

$$\frac{y(t)}{s(t)} = W_{s-y}(P) = \frac{W_p(P) \cdot W_{об}(P)}{1 + W_p(P) \cdot W_{об}(P)}, \quad (\text{Б. 1})$$

где $y(t)$ – выходной сигнал;

$s(t)$ – входное регулирующее воздействие;

$W_p(P)$ – передаточная функция ПИ-регулятора:

$$W_p(P) = k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{\text{и}} \cdot P}\right). \quad (\text{Б. 2})$$

Для построения переходного процесса замкнутой АСР по каналам регулирующего и возмущающего воздействий, использовалось выражение, отражающее связь между переходной характеристикой и вещественной частотной характеристикой (ВЧХ) системы:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (\text{Б. 3})$$

где $y(t)$ – функция переходного процесса замкнутой АСР;

$Re(\omega)$ – ВЧХ замкнутой системы.

Согласно формуле (Б.2), для расчёта переходного процесса системы по каналу регулирующего воздействия найдены значения ВЧХ передаточной функции (Б.1). ВЧХ называют действительную часть передаточной функции.

В таблице 10.3 представлены значения ВЧХ замкнутой системы по каналу регулирующего воздействия в зависимости от частоты ω . Диапазон частот принят $\omega = (0 \dots 0,4) \text{ с}^{-1}$, шаг по частоте $\Delta\omega = 0,025 \text{ с}^{-1}$.

Таблица Б.1 – Значения ВЧХ замкнутой системы по каналу регулирующего воздействия в зависимости от частоты ω

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re_{s-y}(\omega)$
0	1,00
0,025	-0,840
0,050	-0,336
0,075	0,0338
0,100	0,125
0,125	0,114
0,150	0,0376
0,175	-0,0637
0,200	-0,0899
0,225	-0,0249
0,250	0,0391
0,275	0,0575
0,300	0,0305
0,325	-0,0207
0,350	-0,0499
0,375	-0,0282
0,400	0,0140

График ВЧХ замкнутой системы по каналу регулирующего воздействия построен по значениям таблицы Б.1 и представлен на рисунке Б.1.

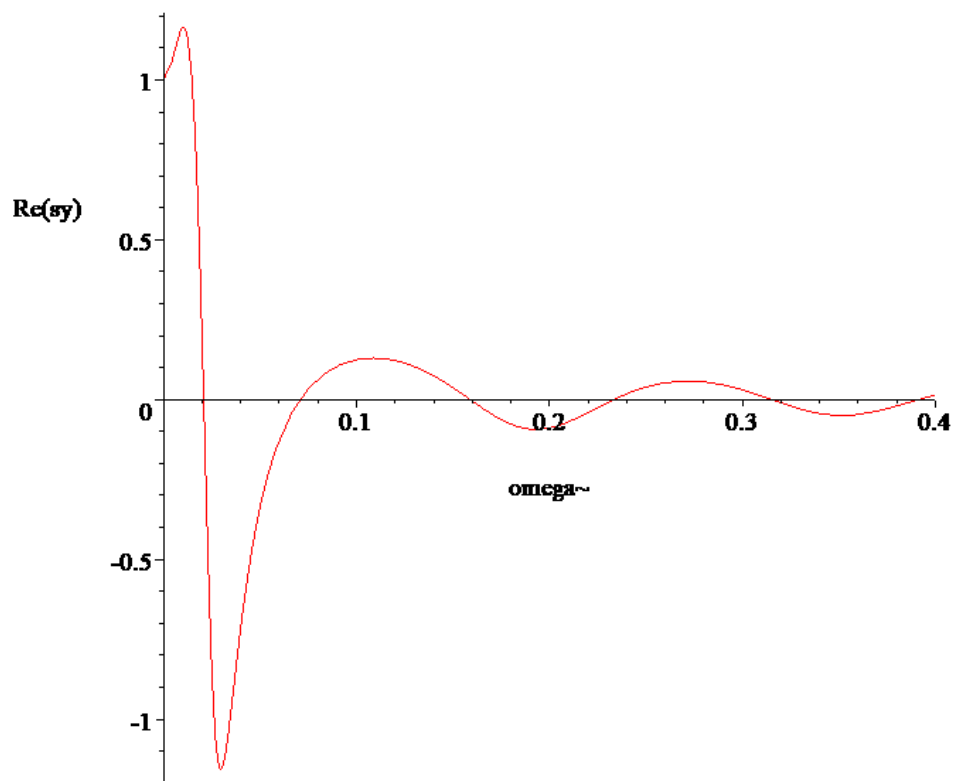


Рисунок Б.1 – График ВЧХ замкнутой системы по каналу регулирующего воздействия

При расчёте и построении графика переходного процесса замкнутой АСР по каналу регулирующего воздействия использовалось выражение:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^5 \frac{Re_{s-y}(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (\text{Б.4})$$

где $Re_{s-y}(\omega)$ – ВЧХ системы по каналу регулирующего воздействия, значения которой представлены в таблице Б.1.

Значение верхнего предела интегрирования принято равным 5, с допущением, что при данной частоте график ВЧХ, изображённый на рисунке Б.1, стремится к нулю.

В таблице Б.2 представлены значения выходного сигнала замкнутой АСР $y(t)$ в зависимости от времени t по каналу регулирующего воздействия. Шаг по времени $\Delta t = 35$ с.

Таблица Б.2 – Значения выходного сигнала замкнутой АСР $y(t)$ в зависимости от времени t по каналу регулирующего воздействия

$t, \text{с}$	$y(t)$
0	19
35	19
70	20,62
105	22,49
140	23,35
175	23,22
210	22,62
245	22,08
280	21,81
315	21,80
350	21,90
385	22,01
420	22,06
455	22,05
490	22,03
525	22,00
560	21,99
595	21,99
630	22,00
665	22,00
700	22,00

На рисунке Б.2 изображён переходный процесс замкнутой АСР по каналу регулирующего воздействия в условных единицах измерения по оси ординат.

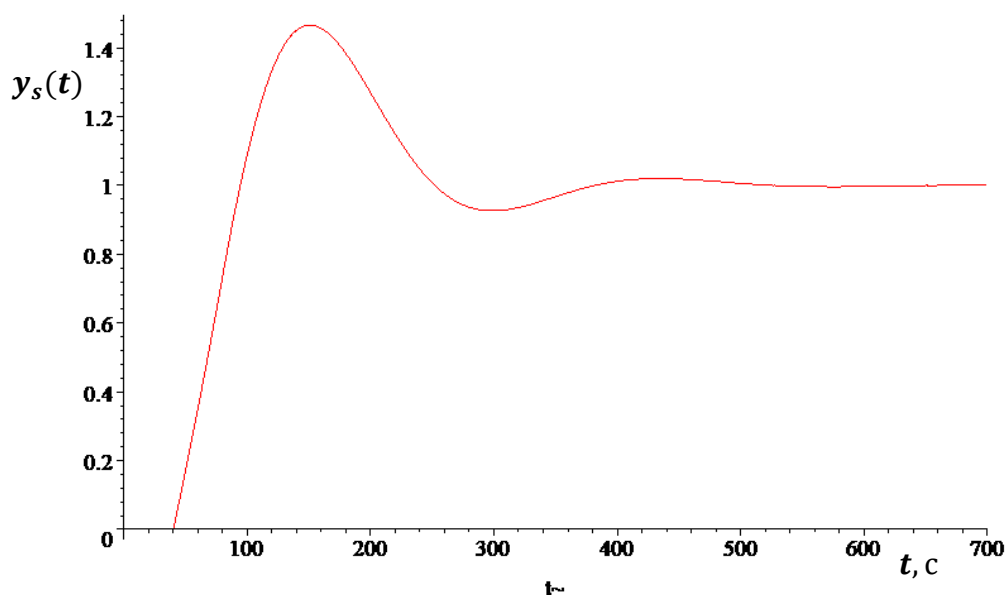


Рисунок Б.2 – Переходный процесс замкнутой АСР по каналу регулирующего воздействия в условных единицах измерения по оси ординат

На рисунке Б.3 изображён переходный процесс замкнутой АСР по каналу регулирующего воздействия в единицах регулируемой величины на оси ординат.

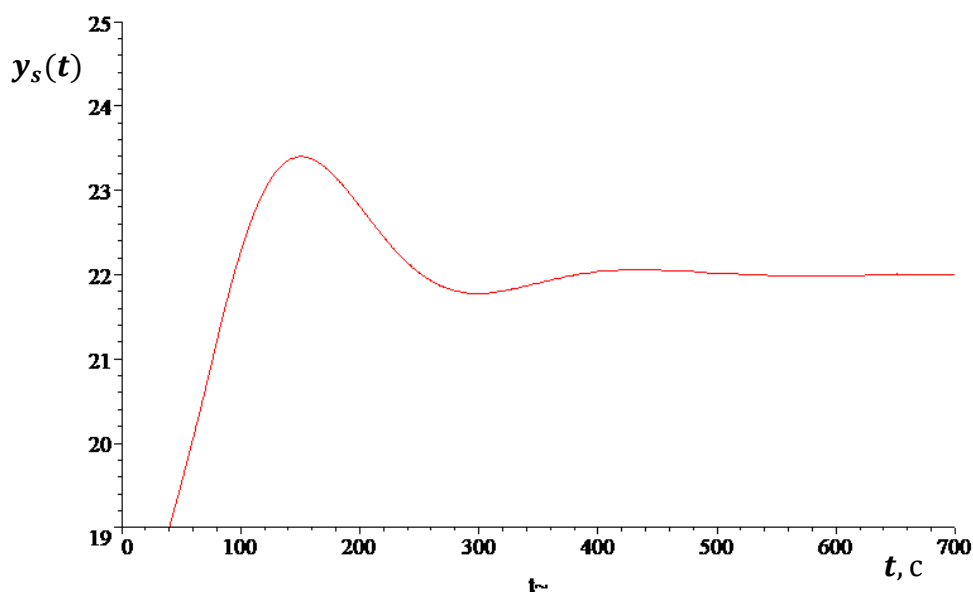


Рисунок Б.3 – Переходный процесс по каналу регулирующего воздействия в единицах регулируемой величины на оси ординат

Из рисунка Б.3 видно, что переходной процесс затухающий, следовательно, система устойчивая.

Б.2 Оценка качества переходного процесса замкнутой АСР по каналу регулирующего воздействия

Оценка качества переходных процессов необходима для определения эффективности разработанной АСР.

Прежде всего, необходимо обратить внимание на форму переходного процесса, изображённого на рисунке Б.2. В данном случае, по каналу регулирующего воздействия имеется колебательный переходной процесс, так как производная dy/dt меняет знак более одного раза.

Далее представлен расчёт прямых показателей качества переходного процесса АСР по каналу регулирующего воздействия, выполненный на основании 10.4 и графиков, изображённых на рисунках Б.2 и Б.4.

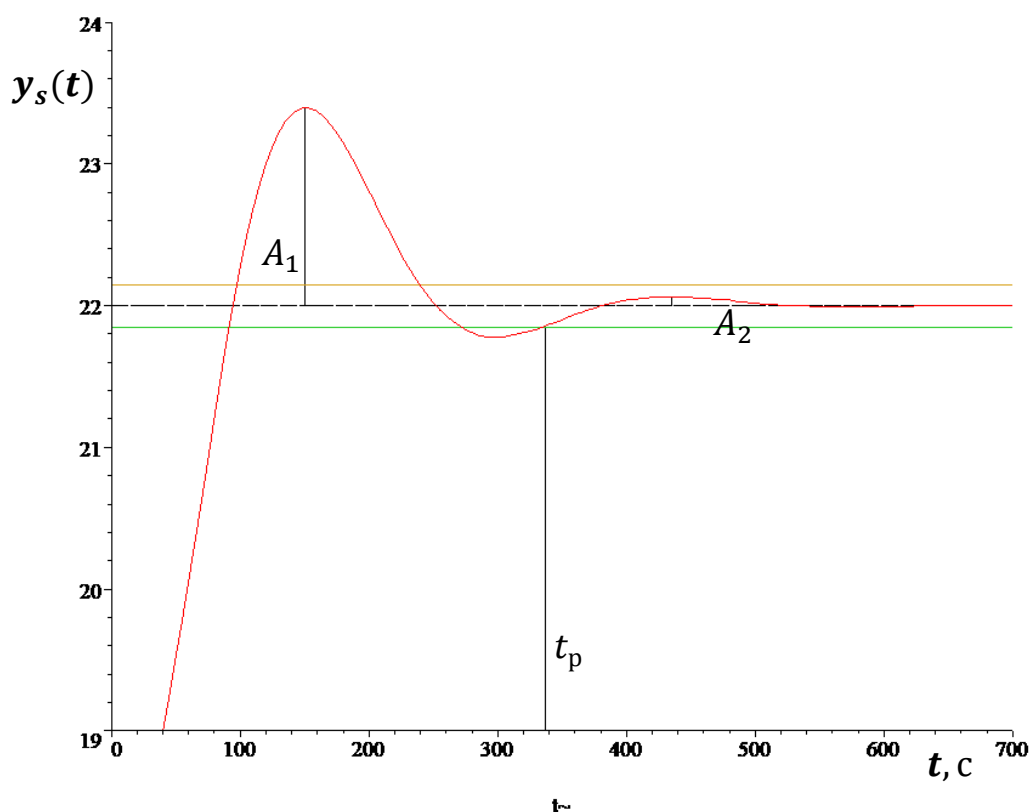


Рисунок Б.4 – График переходного процесса замкнутой АСР по каналу регулирующего воздействия с изображением величин, характеризующих его качество

Динамическая ошибка, характеризующая максимальный выброс регулируемой величины: $A_1 = 0,466$.

Перерегулирование (для апериодических и колебательных переходных процессов):

$$\sigma = \frac{A_1}{y(\infty)} \cdot 100 = \frac{0,466}{1} \cdot 100 = 46,6 \%, \quad (\text{Б. 5})$$

где $y(\infty)$ – значение выходного сигнала в установившемся состоянии.

Степень затухания переходного процесса:

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,466 - 0,020}{0,466} = 0,957, \quad (\text{Б. 6})$$

где A_2 – второе максимальное значение регулируемой величины;

Статическая ошибка, определяющая точность поддержания заданного значения регулируемой величины в статике:

$$\varepsilon_{\text{ст}} = s - y(\infty) = 1 - 1 = 0, \quad (\text{Б. 7})$$

где s – сигнал входного регулирующего воздействия.

Время регулирования, характеризующее быстродействие АСР и определяющееся по величине отклонения от установившегося состояния $\Delta = 0,05 \cdot y(\infty)$ и графику переходного процесса, представленному на рисунке Б.4:

$$\Delta = 0,05 \cdot y(\infty) = 0,05 \cdot 3 = 0,15, \quad (\text{Б. 8})$$

$$t_p = 337 \text{ с.}$$

Б.3 Расчёт и построение переходного процесса в замкнутой АСР при возмущении f , идущем по каналу возмущающего воздействия

Передаточная функция АСР по каналу возмущающего воздействия $W_{f-y}(P)$ имеет вид:

$$\frac{y(t)}{f(t)} = W_{f-y}(P) = \frac{W_{об}(P)}{1 + W_p(P) \cdot W_{об}(P)}, \quad (\text{Б. 9})$$

где $f(t)$ – сигнал возмущающего воздействия.

При расчёте переходного процесса необходимо использовать выражение (Б.3) с учётом ВЧХ системы по каналу $f(t) \rightarrow y(t)$.

В таблице Б.3 представлены, рассчитанные с помощью программы Maple, значения ВЧХ системы по каналу возмущающего воздействия.

Таблица Б.3 – Значения ВЧХ системы по каналу возмущающего воздействия

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re_{f-y}(\omega)$
0	0
0,025	-0,134
0,050	-0,219
0,075	0,00246
0,100	0,0656
0,125	0,0660
0,150	0,0251
0,175	-0,0335
0,200	-0,0514
0,225	-0,0159
0,250	0,0210
0,275	0,0326
0,300	0,0181
0,325	-0,0109
0,350	-0,0282
0,375	-0,0165
0,400	0,00738
0,425	0,0207
0,450	0,0159
0,475	-0,00212
0,500	-0,0177
0,525	-0,0155
0,550	0,000531

График ВЧХ замкнутой системы по каналу возмущающего воздействия изображён на рисунке Б.5.

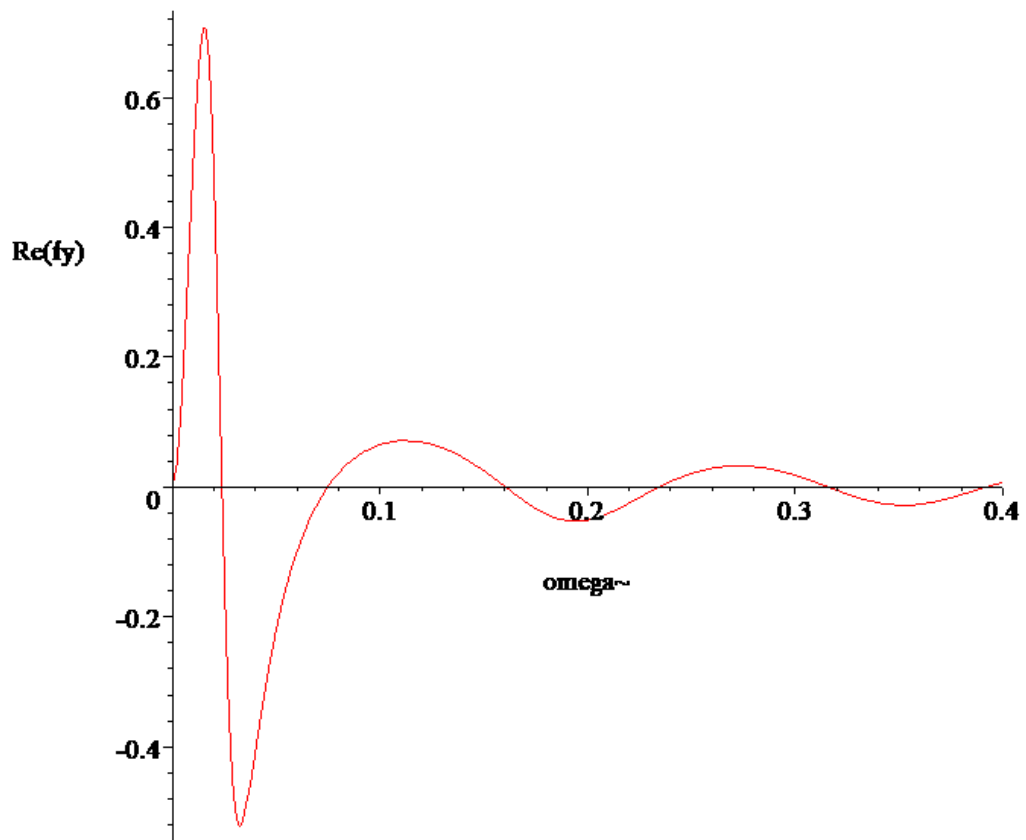


Рисунок Б.5 – График ВЧХ замкнутой системы по каналу возмущающего воздействия

После получения значений ВЧХ системы по каналу $f(t) \rightarrow y(t)$ использована формула для расчёта переходного процесса по данному каналу:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^5 \frac{Re_{f-y}(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (\text{Б. 10})$$

где $Re_{f-y}(\omega)$ – ВЧХ системы по каналу возмущающего воздействия.

Верхний предел интегрирования в формуле (Б.10) принят на основании допущения, что при данной частоте график ВЧХ, изображённый на рисунке Б.5 стремится к нулю.

В таблице Б.4 представлены значения выходного сигнала замкнутой АСР $y(t)$ в зависимости от времени t по каналу возмущающего воздействия. Шаг по времени принят $\Delta t = 35$ с.

Таблица Б.4 – Значения выходного сигнала замкнутой АСР $y(t)$ в зависимости от времени t по каналу возмущающего воздействия

$t, \text{с}$	$y(t)$
0	0
35	0
70	0,2662
105	0,4824
140	0,4732
175	0,3088
210	0,1221
245	$-0,6888 \cdot 10^{-4}$
280	-0,04156
315	-0,03070
350	$-0,4494 \cdot 10^{-2}$
385	0,01346
420	0,01715
455	0,01144
490	$0,3690 \cdot 10^{-2}$
525	$-0,1409 \cdot 10^{-2}$
560	$-0,2864 \cdot 10^{-2}$
595	$-0,1966 \cdot 10^{-2}$
630	$-0,4702 \cdot 10^{-3}$
665	$0,5222 \cdot 10^{-3}$
700	$0,7576 \cdot 10^{-3}$

На рисунке Б.6 представлен переходный процесс замкнутой АСР по каналу возмущающего воздействия.

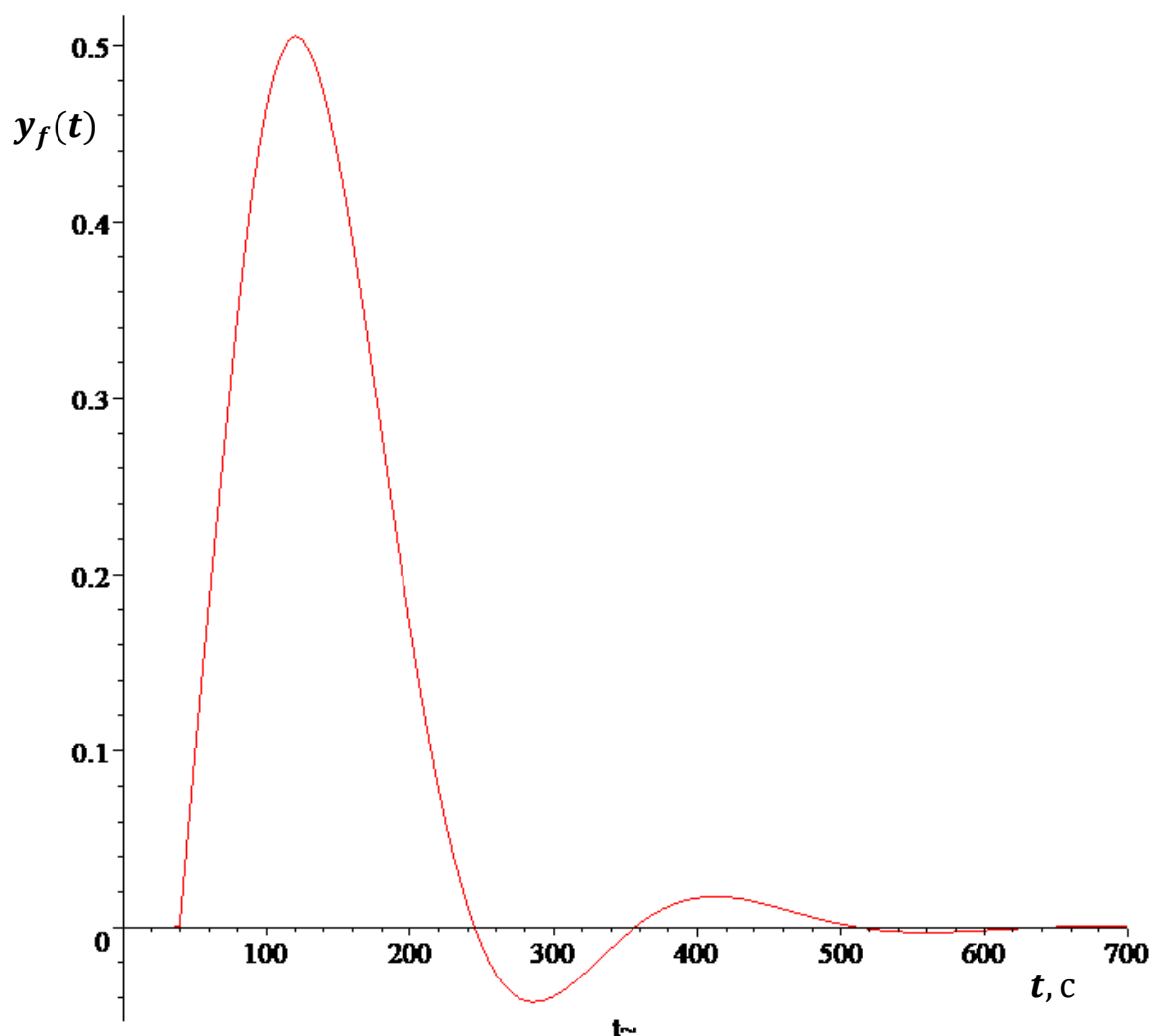


Рисунок Б.6 – Переходный процесс замкнутой АСР по каналу возмущающего воздействия

Как видно из рисунка Б.6, переходной процесс по каналу $f(t) \rightarrow y(t)$ затухающий, следовательно, система подавляет возмущение и способна удерживать устойчивое состояние.

Б.4 Оценка качества переходного процесса замкнутой АСР по каналу возмущающего воздействия

Для определения характеристик переходного процесса использованы прямые оценки качества, с учётом того, что расчёт ведётся по каналу возмущающего воздействия.

По каналу возмущающего воздействия имеется колебательный переходной процесс, так как производная dy/dt меняет знак более одного раза. Ниже приведено нахождение прямых критериев качества процесса. Параметры переходного процесса получены из рисунка Б.7 и таблицы Б.4.

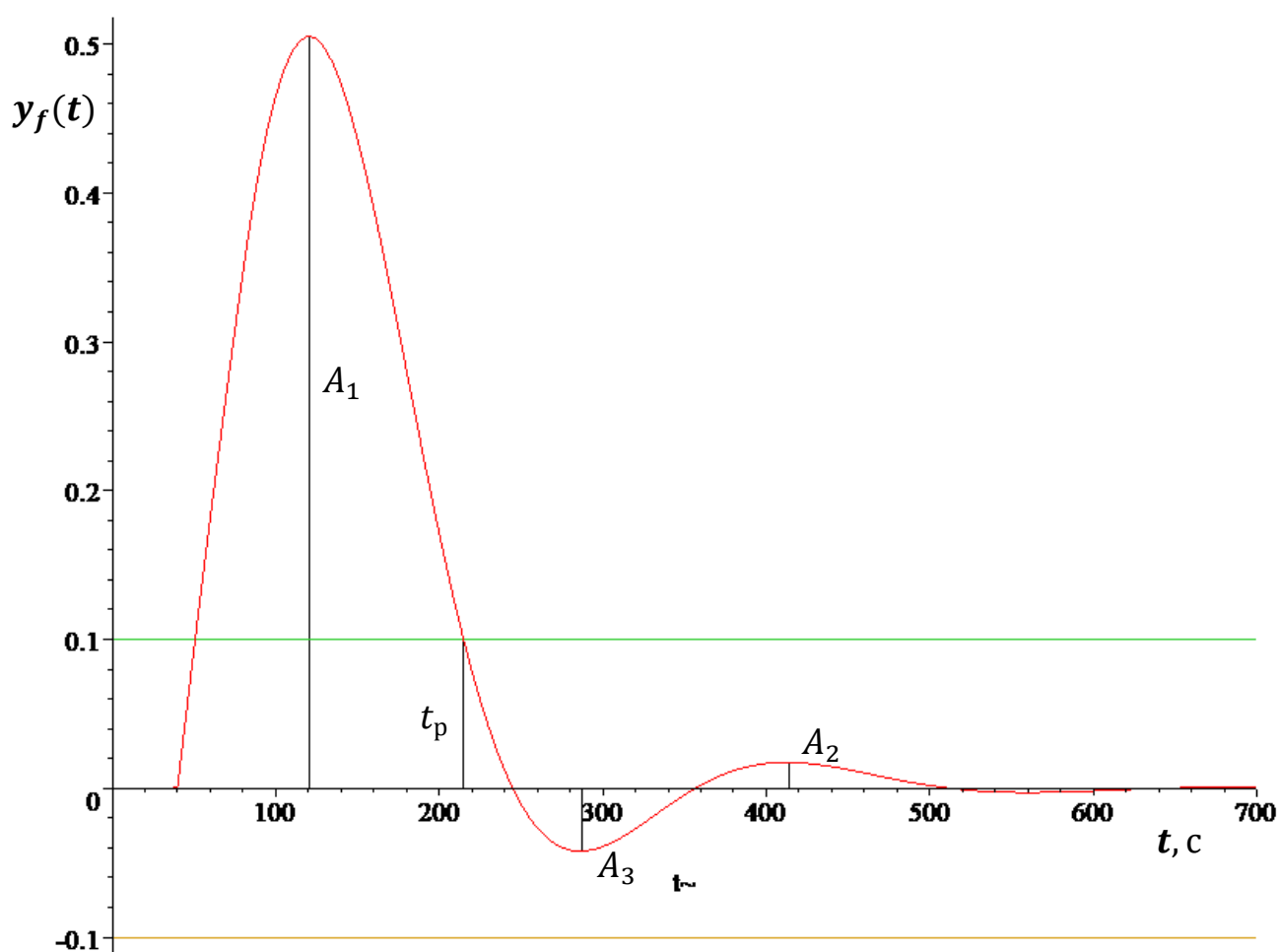


Рисунок Б.7 – График переходного процесса замкнутой АСР по каналу возмущающего воздействия с изображением величин, характеризующих его качество

Динамическая ошибка, характеризующая максимальный выброс регулируемой величины: $A_1 = 0,5054$;

Перерегулирование (для апериодических и колебательных переходных процессов):

$$\sigma = \frac{A_3}{A_1} \cdot 100 \% = \frac{0,04232}{0,5054} \cdot 100 \% = 8,37 \%, \quad (\text{Б. 11})$$

где A_3 – минимальное значение регулируемой величины в переходном процессе.

Динамический коэффициент регулирования R_D , характеризующий управляющие способности регулятора:

$$R_D = \frac{y(\infty) + A_1}{k_{об}} = \frac{0 + 0,5054}{2} \cdot 100 = 25,27 \%. \quad (\text{Б. 12})$$

Степень затухания переходного процесса:

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,5054 - 0,01740}{0,5054} = 0,965, \quad (\text{Б. 13})$$

где A_2 – второе максимальное значение регулируемой величины.

Статическая ошибка для переходных процессов по каналу возмущающего воздействия имеет формулу:

$$\varepsilon_{ст} = y(\infty) = 0.$$

Время регулирования для переходных процессов по каналу возмущающего воздействия определяется по величине отклонения от установившегося состояния $\Delta = 0,05 \cdot k_{об}$ и графику переходного процесса, представленному на рисунке 10.11:

$$\begin{aligned} \Delta &= 0,05 \cdot k_{об} = 0,05 \cdot 2 = 0,1, \\ t_p &= 215 \text{ с.} \end{aligned} \quad (\text{Б. 14})$$

Приложение В (справочное)

Графические материалы, демонстрирующие внешний вид и состав
экспериментального стенда



Рисунок В.1 – Внешний вид стенда

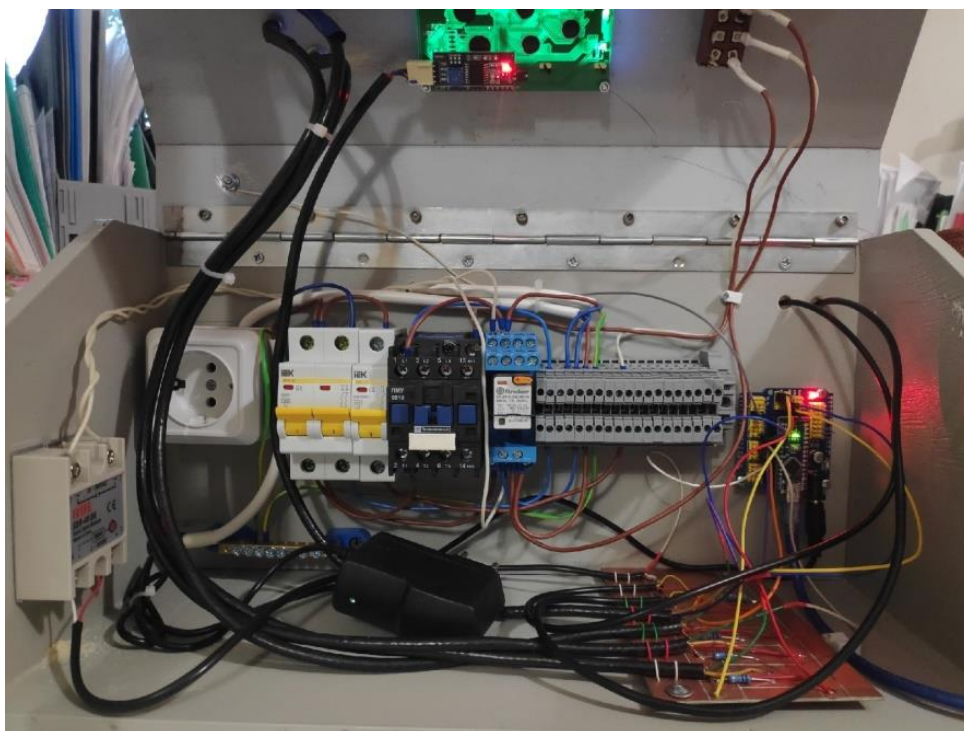


Рисунок В.2 – Вид на первый отсек стенда

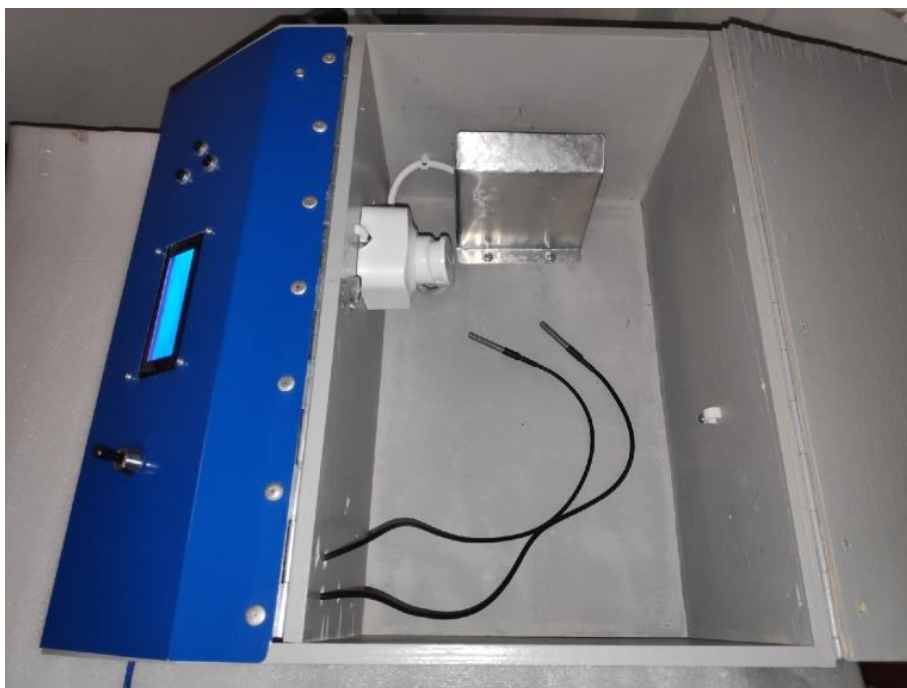


Рисунок В.3 – Вид на второй отсек стенда

Приложение Г

(обязательное)

Листинг части программного кода для 1 комнаты

```
...

//ПРОВЕРКА ВХОДНОГО БУФЕРА SCADA
state = slave.poll(au16data, 33);
// ТЕМПЕРАТУРЫ В КОМНАТАХ
//1 комната (стенд)
if (millis() - Time1 >= PERIOD)
{
    sensors.requestTemperatures();
    IT1 = sensors.getTempC(sensor1);
    IT2 = sensors.getTempC(sensor2);
    T = (IT1 + IT2) / 2;
    // Нахождение разности текущей и прошлой температуры раз в CountT раз по 5 сек
    CountT++;
    // Сколько раз по 5 секунд.
    if (CountT >= 2)
    {
        dT = IT - T;
        CountT = 0;
        IT = T;
    }
    lcd.setCursor(15, 3);
    lcd.print(dT);
    do
    {
        Time1 += PERIOD; // Тайм догоняет миллис
        if (Time1 < PERIOD)
            break;
    } while (Time1 < millis() - PERIOD);
}
if (dT > 1) // Сигнализация о резком снижении температуры
    au16data[26] = true;
```

```

else
    au16data[26] = false;
// Вывод температуры первой комнаты в Скада и реализация аварийного охлаждения /
нагрева
au16data[TEMP1] = round(T);
if (T > 36)
{
    flagT1 = true;
    digitalWrite(RELE_PIN, LOW);
    au16data[SOSTRELAY1] = false;
}
if (T < -1)
{
    flagT1 = true;
    digitalWrite(RELE_PIN, HIGH);
    au16data[SOSTRELAY1] = true;
}
if ((T < 35 + deviation) && (T > 0 - deviation))
{
    flagT1 = false;
}
...
// ИЗМЕНЕНИЕ УСТАВОК В СКАДА
// Изменение уставки в для 1 комнаты в Скада
if (au16data[UST1] != au16dataUST1)
{
    if (au16data[UST1] > MAX_TEMP)
    {
        au16data[UST1] = MAX_TEMP;
    }
    if (au16data[UST1] < MIN_TEMP)
    {
        au16data[UST1] = MIN_TEMP;
    }
}
// Изменение в регистре уставки 1 комнаты

```

```

    user_temp1 = au16data[UST1];
    au16dataUST1 = au16data[UST1];
}
...
// КНОПКА ВЫБОРА КОМНАТЫ НА СТЕНДЕ И ТОЛЬКО
if (digitalRead(MENU_PIN) == HIGH && (FlagButton3 == false))
{
    roomNumber++;
    if (roomNumber > 3)
    {
        roomNumber = 1;
    }
    TimeButton3 = millis();
    FlagButton3 = true;
}
if (TimeButton3 + 350 <= millis())
{
    FlagButton3 = false;
}
...
// КОМНАТЫ НА ДИСПЛЕЕ (УСТАВКИ КНОПКАМИ И ВЫВОД ИНФОРМАЦИИ)
switch (roomNumber)
{
case 1:
    if (user_temp3 > 9 && user_temp1 < 10)
    {
        lcd.setCursor(13, 3);
        lcd.print(" ");
    }
    // КНОПКИ ПОВЫШЕНИЯ/ПОНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ УСТАВКИ
    //Повышения ручным
    if (digitalRead(PLUS_PIN) == HIGH && (FlagButton1 == false) && (user_temp1 <
MAX_TEMP))
    {
        user_temp1++;

```

```

EEPROM.put(0, user_temp1);
TimeButton1 = millis();
FlagButton1 = true;
}
if (TimeButton1 + 350 <= millis()) //350 мс это время, пока флаг 1 true и сигнал с
увеличит user_temp 1 раз на единицу
{
    FlagButton1 = false;
}
// Понижения ручным
if (digitalRead(MINUS_PIN) == HIGH && (FlagButton2 == false) && (user_temp1 >
MIN_TEMP))
{
    user_temp1--;
    EEPROM.put(0, user_temp1);
    TimeButton2 = millis();
    FlagButton2 = true;
}
if (TimeButton2 + 350 <= millis()) //350 мс это время, пока флаг 2 true и сигнал с
уменьшает user_temp 1 раз на единицу
{
    FlagButton2 = false;
}
// ДИСПЛЕЙ СТЕНДА
//Комната
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Room 1");
// Температура
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("Temperature =");
lcd.setCursor(14, 2);
lcd.print(T);
//Уставка
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("Setpoint =");

```

```

//Настройка корректного перехода с 10 на 9
if (user_temp1 == 9)
{
    lcd.setCursor(13, 3);
    lcd.print(" ");
}
lcd.setCursor(12, 3);
lcd.print(user_temp1);
break;

...
// ПЕРЕЗАПИСЬ ОБНОВЛЁННЫХ УСТАВОК В ПЕРЕМЕННЫЕ СКАДЫ ПО
УСТАВКАМ И ИХ РЕГИСТРОВЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ (БУФЕРНЫЕ)
// Выводится уставка 1-й комнаты в SCADA
au16data[UST1] = user_temp1;
au16dataUST1 = au16data[UST1];

...
// УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ И РЕЛЕ
// 1 КОМНАТА
//Ручной режим комната 1
if (au16data[REJ11] != au16dataREJ11) // Проверка изменения состояния кнопки
включения ручного режима
{
    countREJ11++;
    if (countREJ11 > 2)
    {
        countREJ11 = 1;
    }
    au16dataREJ11 = au16data[REJ11];
}
if (countREJ11 == 1)
{
    au16data[SOSTREJ1] = true;
}
// Выполнение ручного режима
if (au16data[SOSTREJ1] == true)

```

```

{
    if (au16data[UPRRELAY11] != au16dataUPRRELAY11) // Проверка состояния кнопки
включения реле
    {
        countUPRRELAY11++;
        if (countUPRRELAY11 > 2)
        {
            countUPRRELAY11 = 1;
        }
        au16dataUPRRELAY11 = au16data[UPRRELAY11];
    }
    if ((countUPRRELAY11 == 1) && (flagT1 == false))
    {
        au16data[SOSTRELAY1] = true;
    }
    if (au16data[SOSTRELAY1] == true)
    {
        digitalWrite(RELE_PIN, HIGH);
    }

    if (au16data[UPRRELAY12] != au16dataUPRRELAY12) // Проверка состояния кнопки
выключения реле
    {
        countUPRRELAY12++;
        if (countUPRRELAY12 > 2)
        {
            countUPRRELAY12 = 1;
        }
        au16dataUPRRELAY12 = au16data[UPRRELAY12];
    }
    if ((countUPRRELAY12 == 1) && (flagT1 == false))
    {
        au16data[SOSTRELAY1] = false;
    }
    if (au16data[SOSTRELAY1] == false)

```

```

    {
        digitalWrite(RELE_PIN, LOW);
    }
}

//Авторежим комната 1
if (au16data[REJ12] != au16dataREJ12) // Проверка изменения состояния кнопки
включения автоматического режима
{
    countREJ12++;
    if (countREJ12 > 2)
    {
        countREJ12 = 1;
    }
    au16dataREJ12 = au16data[REJ12];
}

if (countREJ12 == 1) // Выполнение автоматического режима
{
    au16data[SOSTREJ1] = false;
}
if (au16data[SOSTREJ1] == false)
{
    if (millis() - Time2 >= PERIOD)
    { // Время уже второе, чтобы не было зависания из-за рассинхронизации двух миллисов
        if (T < user_temp1 - deviation)
        {
            digitalWrite(RELE_PIN, HIGH);
            au16data[SOSTRELAY1] = true;
        }
        if (T > user_temp1 + deviation)
        {
            digitalWrite(RELE_PIN, LOW);
            au16data[SOSTRELAY1] = false;
        }
    }
}
do

```



```
{  
    Time2 += PERIOD; // Тайм догоняет миллис  
    if (Time2 < PERIOD)  
        break;  
} while (Time2 < millis() - PERIOD);  
}  
}
```

Приложение Д
(обязательное)

Таблицы раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и
ресурсосбережение»

Таблица Д.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		А	У	П	К _А	К _{УР}	К _{ПЛК}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
2. Достоверность измерения температуры	0,2	4	2	4	0,8	0,4	0,8
3. Надёжность	0,1	3	2	4	0,3	0,2	0,4
4. Энергоэкономичность	0,05	4	4	2	0,2	0,2	0,1
5. Функциональная мощность (использования различных законов регулирования)	0,1	5	1	5	0,5	0,1	0,5
6. Качество интерфейса	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
7. Возможность подключения к ЭВМ	0,05	4	1	4	0,2	0,05	0,2
8. Безопасность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
9. Сложность монтажа	0,05	3	5	3	0,15	0,25	0,15
Экономические критерии ресурсоэффективности							
1. Цена	0,2	3	5	1	0,6	1	0,2
Итого:	1	39	32	35	3,85	3,25	3,35

Таблица Д.2 – Матрица SWOT для рассматриваемого проекта

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Низкая стоимость элементов системы, имеющих при этом широкий функционал;</p> <p>С2. Безопасность;</p> <p>С3. Высокая точность поддержания температуры;</p> <p>С4. Возможность подключения к ЭВМ;</p> <p>С5. Наличие удобных интерфейсов с необходимостью малого количества проводов;</p> <p>С6. Поддержка мощного языка программирования</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Низкая помехоустойчивость (относительно промышленных ПЛК);</p> <p>Сл2. Сложность монтажа;</p> <p>Сл3. Требование к высокой квалификации программиста для языка C++;</p> <p>Сл4. Низкая степень защиты от пыли и влаги;</p> <p>Сл.5 Большое количество отдельных элементов системы</p>
<p>Возможности проекта:</p> <p>В1. Расширение функционала, введение дополнительных сигнализаций и режимов;</p> <p>В2. Использование более качественных дисплеев и средств управления;</p> <p>В3. Снижение цен на оборудование;</p> <p>В4. Повышение актуальности проекта для обслуживающих организаций в связи с санитарными проверками поддержания условий микроклимата жилых помещений;</p> <p>В5. Расширение видов и типов объектов, где может использоваться АСР;</p> <p>В6. Эргономичная компоновка элементов системы и изготовление для них специальных защитных корпусов;</p> <p>В7. Появление на рынке печатных плат для проектов Arduino, совмещающих в себе различные датчики и питание и другие устройства.</p>	<p>Результаты анализа полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <p>1. Благодаря использованию языка программирования C++, можно эмулировать различные протоколы и интерфейсы, что даёт возможность введения новых функций и управление системой из смартфона или персонального компьютера;</p> <p>2. Поддержка популярных интересов и широкий выбор различных девайсов для проектов на Arduino даёт возможность повысить качество элементов;</p> <p>3. Высокая конкуренция среди поставщиков элементов снижает стоимость комплектующих системы;</p> <p>4. Высокая точность поддержания температуры привлечёт организации к покупке вагон-домов с разработанной АСР;</p> <p>5. Унификация системы позволит использовать её в различных типах мобильных зданий.</p>	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>1. Проблему низкой помехоустойчивости и степени защиты можно решить использованием пластиковых корпусов и экранированием;</p> <p>2. При сотрудничестве с известными производителями в их распоряжении будут квалифицированные специалисты для монтажа и наладки программного обеспечения;</p> <p>3. В случае появления новых многофункциональных печатных плат для проектов Arduino, можно уменьшить количество отдельных элементов автоматики и упростить монтаж системы.</p>

Продолжение таблицы Д.2

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитие конкурирующих технологий;</p> <p>У2. Ограничения на импорт элементов системы;</p> <p>У3. Смягчение требований к параметрам микроклимата в жилых помещениях;</p> <p>У4. Увеличение стоимости компонентов системы.</p>	<p>Результаты анализа полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <p>1. Для поддержания конкурентоспособности системы необходимо совершенствовать программное обеспечение и расширять функционал системы;</p> <p>2. Проблему ограничения на импорт элементов системы можно решить, используя отечественные аналоги;</p> <p>3. Если произойдут послабления в требованиях к параметрам микроклимата жилых помещений, разработанная АСР может привлечь потребителя улучшением качества жизни работников и, как следствие, повышением их работоспособности;</p> <p>4. Повышение стоимости компонентов системы серьезно скажется на привлекательности проекта для инвесторов, однако высокотехнологичность системы и возможность перехода на компоненты другого производителя позволят смягчить последствия данной угрозы.</p>	<p>Результаты анализа полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <p>1. Развитие конкурирующих технологий увеличит весомость недостатков системы, если те не будут исправлены;</p> <p>2. Ограничение на импорт элементов системы может исключить возможность исправления слабых сторон;</p> <p>3. Смягчение требований к параметрам микроклимата жилых помещений, может снизить спрос потребителя к разработанной АСР.</p>
---	---	--

Таблица Д.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Выбор темы и формирование технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Обзор литературы	Инженер
	3	Календарное планирование работ	Инженер

Продолжение таблицы Д.3

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Проектирование и выбор оборудования для экспериментального стенда	Инженер
	5	Создание стенда	Инженер
	6	Разработка программного кода	Инженер
	7	Проведение опытов, анализ и оценка результатов	Инженер
Оформление технической документации	8	Выполнение схем и чертежей	Инженер
Подведение промежуточных итогов	9	Проверка результатов научным руководителем	Руководитель
Составление отчёта по НИР	10	Выполнение разделов финансовый менеджмент и социальная ответственность	Инженер
	11	Составление пояснительной записки по ВКР	Инженер

Таблица Д.4 – Временные показатели проведения технического проекта

Наименование работы	Исполнители	Трудоёмкость работ, (чел.-дни)			Длительность работ, дни	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	T_p	T_k
Выбор темы и формирование технического задания	Руководитель	2	4	2,8	3	4
Обзор литературы, связанной с выбранной темой	Инженер	4	6	4,8	5	6
Календарное планирование работ	Инженер	1	2	1,4	1	1
Проектирование и выбор оборудования для экспериментального стенда	Инженер	6	8	6,8	7	9
Создание стенда	Инженер	10	20	14	14	17
Разработка программного кода	Инженер	7	17	11	11	13
Проведение опытов, анализ и оценка результатов	Инженер	4	7	5,2	5	6
Выполнение схем и чертежей	Инженер	7	9	7,8	8	10

Продолжение таблицы Д.4

Наименование работы	Исполнители	Трудоёмкость работ, (чел.-дни)			Длительность работ, дни	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	T_p	T_k
Проверка результатов научным руководителем	Руководитель	2	5	3,2	3	4
Выполнение разделов финансовый менеджмент и социальная ответственность	Инженер	5	10	7	7	9
Составление пояснительной записки по выпускной квалификационной работе (ВКР)	Инженер	8	12	9,6	10	12
Итого		56	100	73,6	74	91

Таблица Д.5 – Затраты на оборудование и материалы для внедрения разработанной АСР в объект

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на компоненты, руб.
Arduino Nano	Шт.	1	1790	1790
Дисплей MT-20S4A-I	Шт.	1	990	990
Датчик DS18B20	Шт.	6	180	1080
Выключатель автоматический дифференциального тока АВДТ-32 2п	Шт.	3	1094,64	3283,92
Выключатель автоматический ВА47-29 1Р	Шт.	1	147	147
Контактор ПМУ 12	Шт.	1	658	658
Твердотельное реле SSR-25DA	Шт.	3	420	1260
Реле промежуточное Finder 55.32.8.230	Шт.	3	551,95	1655,85
Кабель монтажный МКЭШнг(А)-LS 3x0,5	м.	25	31,88	797
Тумблер П2Т-1	Шт.	1	182,60	182,60
Щит ЩМП-1-0 IP66 TDM	Шт.	1	2936,24	2936,24
Итого:				9923,77

Таблица Д.6 – Затраты на оборудование и материалы для изготовления экспериментального стенда

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на компоненты, руб.
Arduino Nano	Шт.	1	1790	1790
Дисплей MT-20S4A-I	Шт.	1	990	990
Датчик DS18B20	Шт.	2	180	360
Выключатель автоматический ВА47-29 1Р	Шт.	3	147	441
Контактор ПМУ 0910	Шт.	1	248,90	248,90
Твердотельное реле SSR-25DA	Шт.	1	420	420
Реле промежуточное Finder 55.32.8.230	Шт.	1	551,95	551,95
Кабель монтажный МКЭШнг(А)-LS 3х0,5	м.	3	31,88	95,64
Тумблер П2Т-1	Шт.	1	182,60	182,60
Резистор ПЭВ 50	Шт.	2	87,64	175,28
Кнопка RWD-213	Шт.	3	24,56	73,68
Итого:				5255,37

Таблица Д.7 – Расчёт бюджета затрат проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля от бюджета, %
Материальные затраты	15679,14	6,25
Затраты на амортизацию	4950	1,97
Затраты на заработную плату инженера	134950,27	53,79
Затраты на заработную плату руководителя	18997,32	7,57
Затраты на отчисления во внебюджетные фонды	41719,8	16,63
Накладные расходы	34607,44	13,79
Бюджет затрат проекта	250903,97	100

Приложение Е
(обязательное)
Диаграмма Ганта

Таблица Е.1 – Календарный план-график проекта АСР отопления

№	Вид работы	Исполнители	T _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ									
				февраль		март			апрель			май	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Выбор темы	Руководитель	4										
2	Обзор литературы	Инженер	6										
3	Календарное планирование работ	Инженер	1										
4	Проектирование экспериментального стенда	Инженер	9										
5	Создание стенда	Инженер	17										
6	Разработка программного кода	Инженер	13										
7	Проведение опытов	Инженер	6										
8	Выполнение схем и чертежей	Инженер	10										
9	Проверка результатов научным руководителем	Руководитель	4										
10	Выполнение разделов финансовый менеджмент и социальная ответственность	Инженер	9										
11	Составление пояснительной записки ВКР	Инженер	12										